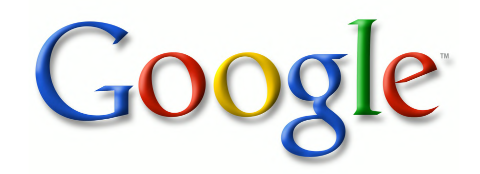
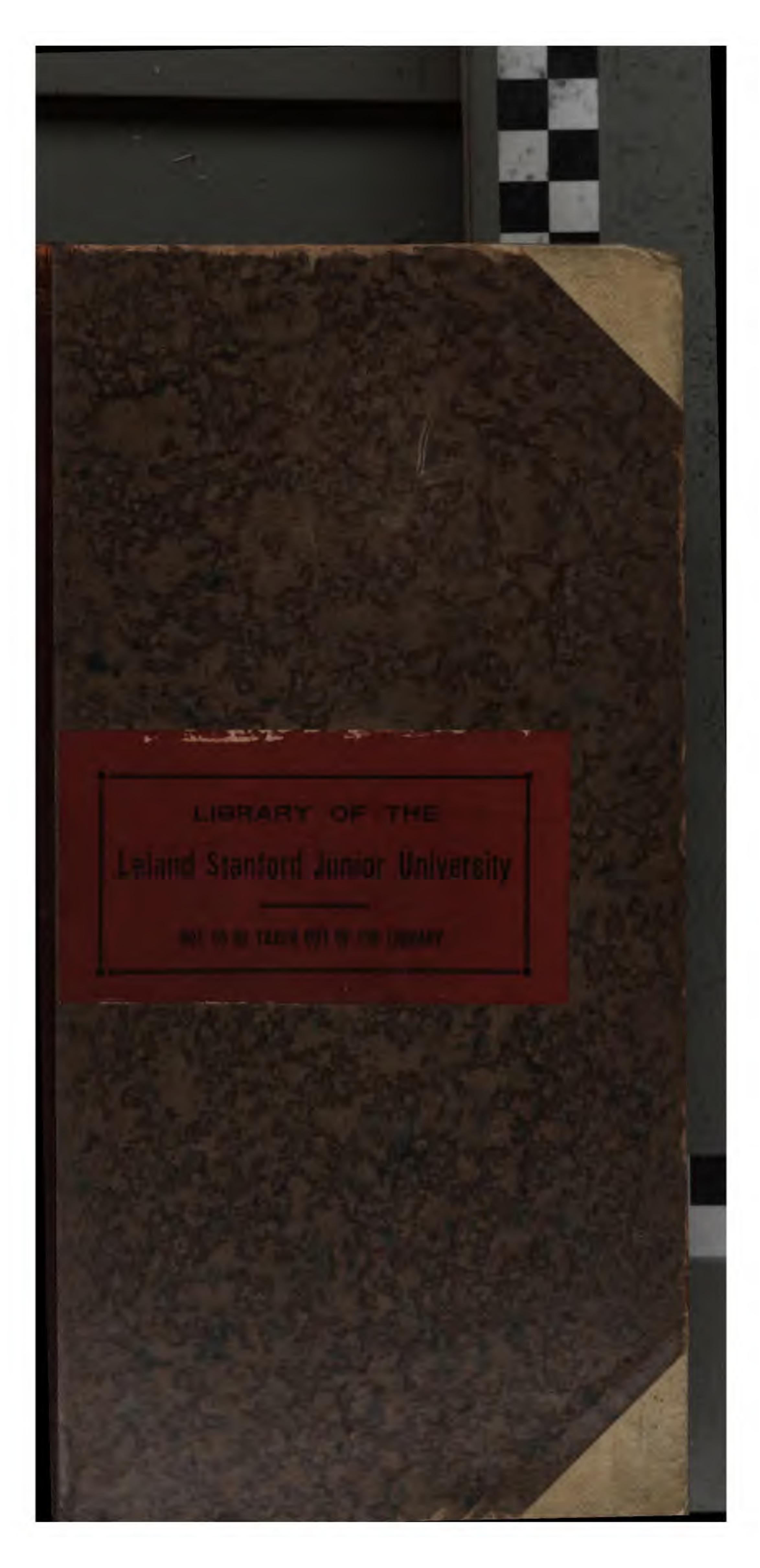
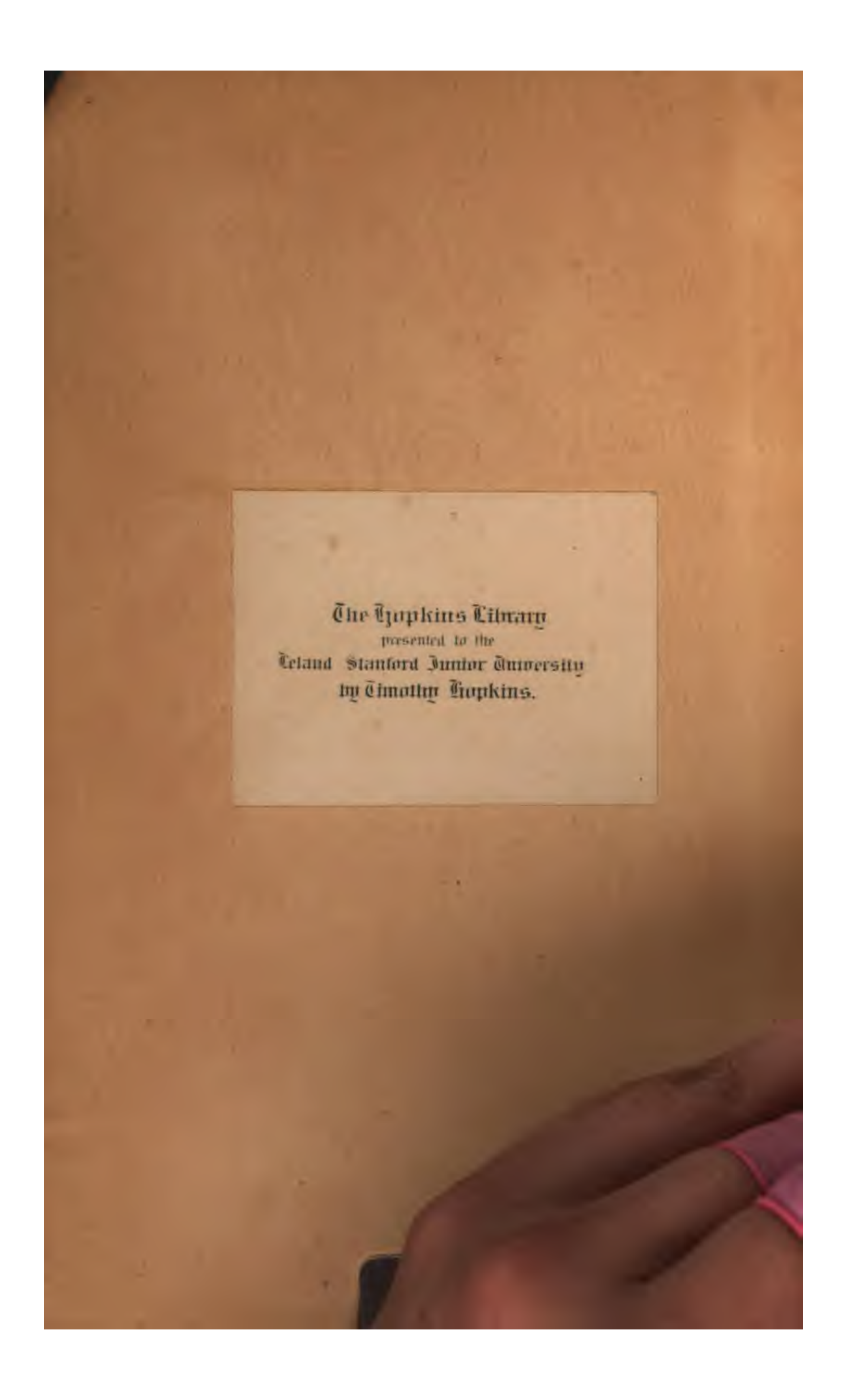
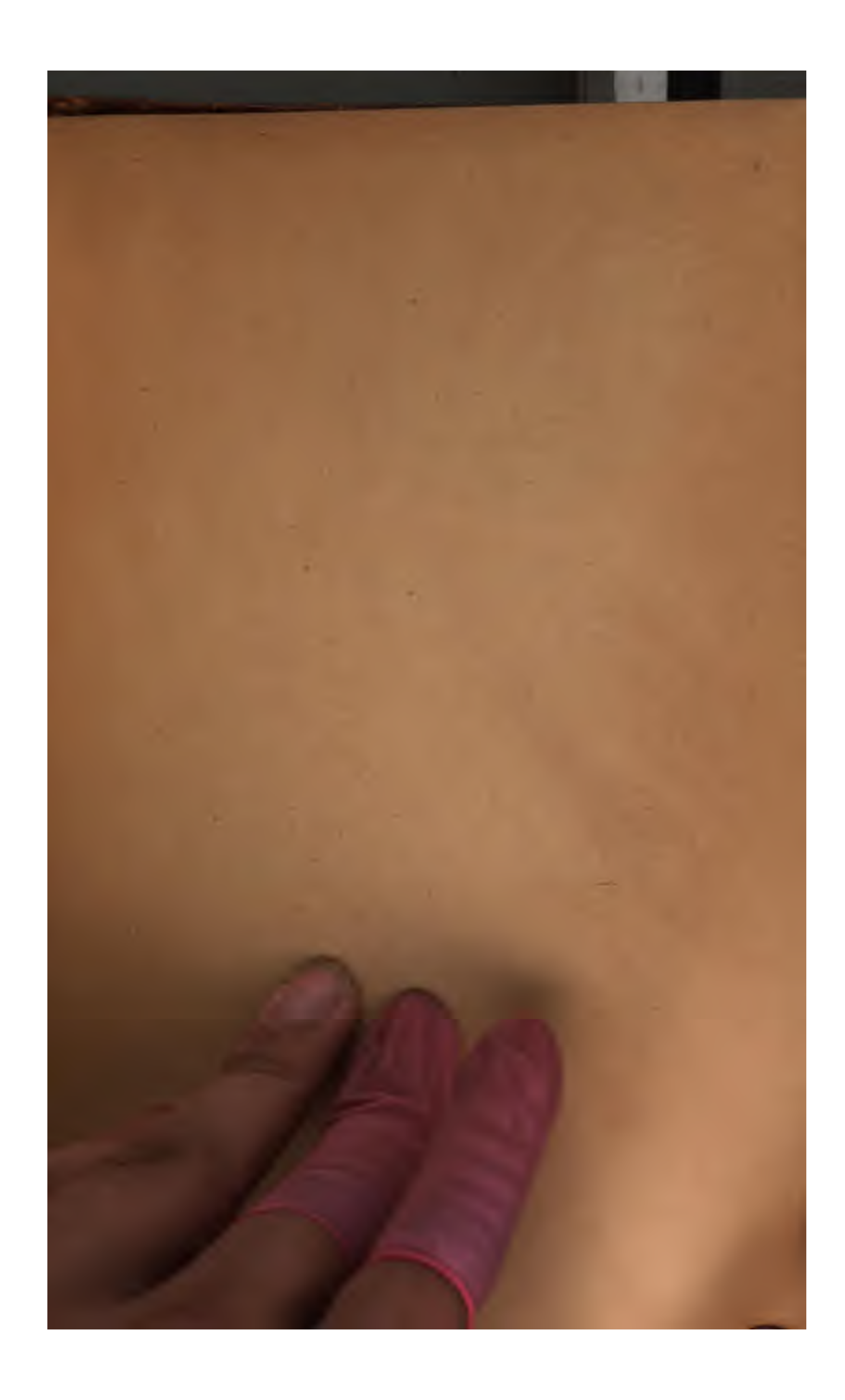



LIBRARY OF THE
Leland Stanford Junior University


The Hopkins Library
presented to the
Leland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.





JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

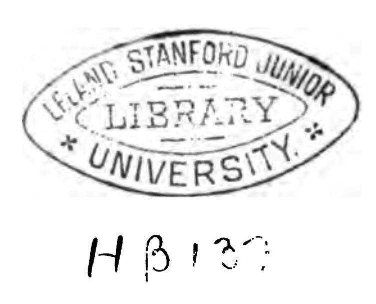
Einundzwanzigster Band.

Mit 18 zum Theil farbigen Tafeln.

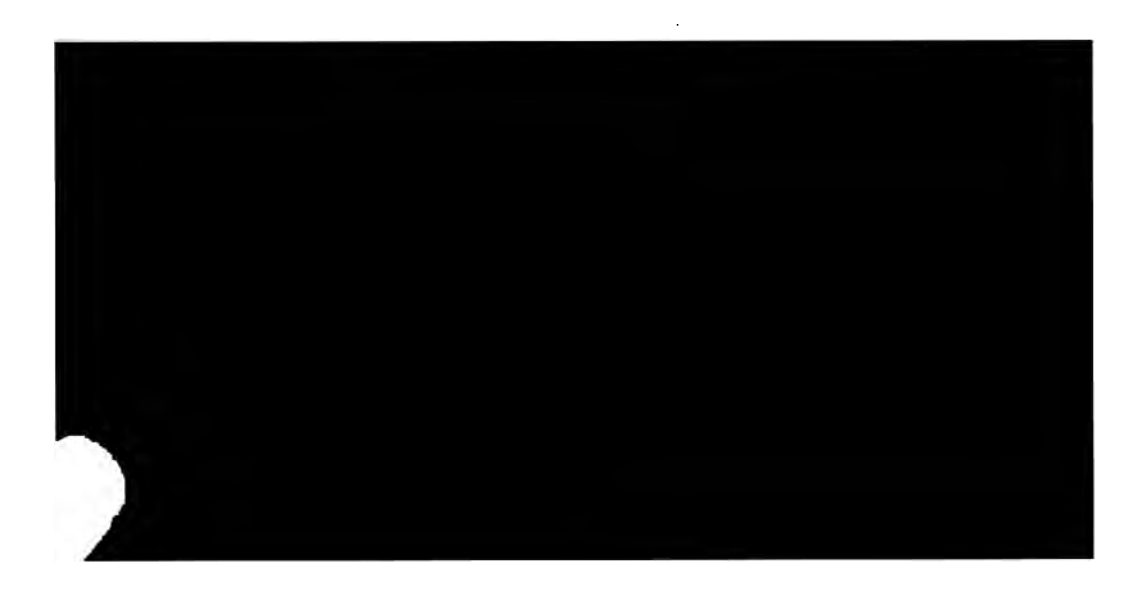
Berlin, 1890.

Verlag von Gebrüder Borntraeger.

Ed. Eggers.



Inhalt.



Verzeichniss der Tafeln.

Alphabetisch nach den Namen der Verfasser geordnetes Inhaltsverzeichniss.

Ueber nichtkrystallisirte Flechtenfarbstoffe,

ein Beitrag zur Chemie und Anatomie der Flechten.

Von

Dr. E. Bachmann.

Hierzu Tafel I.

Unter den Lichenologen giebt es jetzt zwei Richtungen, eine neuere, welche bei der Artabgrenzung das Verhalten der Flechten gegen eine geringe Anzahl von chemischen Reagentien in ausgiebigster Weise benutzt, und eine ältere, die sich gegen diesen Weg, die Stellung der Flechte im System zu bestimmen, möglichst ablehnend verhält. Ganz neu ist die chemische Methode der Flechtenbestimmung allerdings nicht; denn die Anwendung des Jods, als Reagenzes auf die Paraphysen und Asci der Apothecien, wie auch auf die Hyphen des Thallus findet sich schon in Flechtenwerken empfohlen, die vor mehreren Jahrzehnten erschienen sind. Neu ist blos die ausgedehnte Anwendung von Kalilauge und Chlorkalklösung, sowie die, wie mir scheint, übermässige Betonung solcher Reactionen als eines Mittels zur Abgrenzung der Arten und Gattungen. Dieses Verfahren ist aber aus verschiedenen Gründen bedenklich. Einmal nämlich können die zahlreichen, zum Theil einander sehr ähnlichen Pigmente durch die üblichen und allgemein beliebten Reagentien keineswegs sicher unterschieden werden. So wird beispielsweise nicht allein die Chrysophansäure von Kalilauge mit schöner rother Farbe gelöst, sondern auch das Emodin, welches in den Flechten verbreiteter zu sein scheint, als man bisher geglaubt hat. Denn ausser im Thallus von

Nephoroma lusitanica Schaer.[1]) konnte ich es bisher noch in mehreren Cladoniaspecies[2]) und neben der Chrysophansäure im Apothecium von Blastenia percrocata Arn. nachweisen. Emodin aber unterscheidet sich von der Chrysophansäure dadurch, dass es auch von Ammoniumcarbonat roth gefärbt wird. Soll demnach die wahre Natur eines gelbbraunen, krystallisirten Excrets erkannt werden, so muss die Behandlung mit genanntem Reagenz der mit Kalilauge, durch welche beide Flechtenpigmente geröthet werden, vorhergehen. Die blassrothe Färbung, welche von Chlorkalklösung auf der Rinde oder im Marke mancher Flechten hervorgebracht wird, rührt nicht immer von Erythrinsäure[3]) her; denn auch Lecanorsäure wird von Calciumhypochlorid in gleicher Weise verändert. Zur Unterscheidung beider genügt folglich nicht das Betupfen mit der erwähnten Lösung, sondern nur das von Schwarz[4]) angegebene Verfahren. Aus diesen Beispielen schon geht hervor, dass einer Diagnose die wissenschaftliche Genauigkeit fehlt, wenn es in ihr kurz heisst: Thallus oder Epithecium, Rinde oder Mark: K + oder C —. Soll die chemische Beschaffenheit bei der Artabgrenzung überhaupt mit berücksichtigt werden, so ist die Substanz, nachdem ihre Identität durch sorgfältige analytische Bestimmung festgestellt worden ist, in der Diagnose bei ihrem chemischen Namen zu nennen. Zu diesem Zwecke müssten freilich umfassendere und gründlichere Untersuchungen, als es jetzt meistentheils geschieht, ausgeführt werden, welche dafür aber auch in mancher anderen Hinsicht von hohem Interesse und sehr lohnend sein würden.

In noch bedenklicherem Lichte erscheint die chemische Methode der Flechtenbestimmung da, wo es sich um Stoffe handelt, die chemisch noch nicht erforscht sind, von denen vielleicht nichts be-

---

1) Vergl. Bachmann, Emodin in Nephoroma lusitanica. Bericht der deutschen bot. Gesellsch., Bd. V, 192.

2) Der in den betreffenden Cladoniaspecies enthaltene Farbstoff unterscheidet sich aber vom Emodin, dem er in mehreren charakteristischen Reactionen völlig gleicht, durch sein Verhalten gegen gewisse Lösungsmittel. Weiteres hierüber an einem anderen Orte.

3) Vergl. Hue, Addenda nova ad Lichenographiam Europaeam, p. 4. 1886.

4) Schwarz, Dr. Frank, Chemisch-botanische Studien über die in den Flechten vorkommenden Flechtensäuren. (Beiträge z. Biologie d. Pfl. v. Ferd. Cohn, Bd. III, Heft 2.)

kannt ist, als die bei den Lichenologen üblichen Reactionen. In diesem Falle ist dem Irrthum vollends Thür und Thor geöffnet, darum von der Verwendung chemischer Reactionen beim Bestimmen von Flechten gänzlich abzurathen und das Feld zunächst dem Chemiker zu überlassen. Denn strenge chemische Unterscheidung der Pigmente ist nicht nur ein unbedingtes Erforderniss wissenschaftlicher Erforschung der Flechten überhaupt, sondern auch die Grundbedingung für den Gebrauch von Reagentien zum Zwecke des Bestimmens oder der Artabgrenzung.

Deshalb ist vorliegende Arbeit, wie ich vorausschicken möchte, nicht sowohl in der Absicht unternommen worden, für die Flechtenkenner neue Reactionen aufzufinden, sondern eine Reihe von Flechtenfarbstoffen in chemischer und anatomischer Hinsicht kennen zu lehren, die bisher noch nicht Gegenstand der Untersuchung gewesen sind. Die Färbung der Flechten wird bekanntlich entweder von amorphen oder krystallisirten Substanzen verursacht, welche letzteren stets als Excrete die Hyphen oder Paraphysen äusserlich bedecken und gewöhnlich schlechthin Flechtensäuren genannt werden, obwohl feststeht, dass sie keineswegs alle Säurecharakter haben. Sowohl botanischer- als auch chemischerseits sind über sie wichtige Aufschlüsse gegeben worden. Anders die nichtkrystallisirten Farbstoffe, über die zur Zeit so gut wie nichts bekannt ist. De Bary hebt da[1]), wo er in seiner vergleichenden Morphologie und Biologie der Pilze etc. von den Membranfarbstoffen spricht, ausdrücklich hervor, dass genauere, wenigstens mikrochemische Untersuchungen über diese die Zellhaut gleichförmig durchdringenden Pigmente fehlen. Bestimmter lauten einige zutreffende Angaben, welche sich bei Nägeli-Schwendener, das Mikroskop[2]), finden, wo die schöne Reaction auf den grünen Farbstoff von Aspicilia calcarea (L.) Kbr. und das Verhalten eines bei den Flechten sehr verbreiteten braunen Pigments beschrieben wird. Mehr habe ich über diesen Gegenstand in der botanischen Litteratur nicht finden können und deshalb die Bearbeitung desselben unternommen. Ausser der chemischen habe ich auch die botanische Seite der amorphen Farbstoffe berücksichtigt, indem ich

1) De Bary, Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze etc., p. 438.
2) Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, 1. Aufl., p. 508.

durch mikroskopische Untersuchung festzustellen mich bemüht habe, in welchem Theil der Zelle dieselben auftreten, wie sie in den einzelnen Membranschichten und über die verschiedenen Flechtentheile vertheilt sind.

Zur Methode der Untersuchung habe ich wenig zu bemerken. Ein Mikroskop von Zeiss und besonders die Combinationen von D,2 und F,1 und F,4 dienten mir zur mikroskopischen Beobachtung. Für die mikrochemische Untersuchung ist selbstverständlich Reinheit der Reagentien erste Bedingung. Bei ihrer Uebertragung auf den Objectträger hat man sich der grössten Sauberkeit zu befleissigen: Für jedes Reagenz ist ein besonderer Glasstab nöthig, ebenso für das destillirte Wasser, das zur ersten Einbettung der gewonnenen Präparate am häufigsten verwendet wird. Nie darf das Wasser, in welchem die Objectträger und Deckgläschen abgespült worden sind, auch benutzt werden, um Schnitte hinein zu legen. Am sichersten wird die nothwendige Sauberkeit erzielt, wenn man sämmtliche in Anwendung kommende Flüssigkeiten in sogenannten Cobaltflaschen mit eingeschliffenem, verlängertem Stopfen aufbewahrt. Letzterer ist dann an Stelle des Glasstabes zu verwenden. Man setzt sich leicht groben Missverständnissen aus, wenn man diese Vorsichtsmaassregeln ausser Acht lässt. Trägt man z. B. ein Präparat von Catillaria athallina Hellb. in Wasser von spurenhaft alkalischer Reaction, so gelangt man über das ursprüngliche Aussehen des in ihr enthaltenen grünen Farbstoffs zu einer ganz falschen Vorstellung, weil derselbe in solchem Wasser sofort schön violett gefärbt wird.

Der speciellen Betrachtung der gefundenen Pigmente schicke ich einen die Hauptergebnisse enthaltenden allgemeinen Theil voraus.

I.
Allgemeiner Theil.

Die nichtkrystallisirten Flechtenfarbstoffe sind entweder der Membran eingelagert (Membranfarbstoffe), oder sie sind tröpfchenförmige Bestandtheile des Inhalts, oder endlich sie bilden der Membran äusserlich aufgelagerte Excretmassen.

Den zweiten Fall habe ich nur bei Baeomyces roseus Pers.[1]), den dritten bei Arthonia gregaria (Weig.) Kbr. und Urceolaria ocellata DC., den ersten bei allen übrigen, d. h. ungefähr 120 zur Untersuchung gekommenen Flechten gefunden.

Allein nicht blos weit häufiger sind die Membranfarbstoffe, als die beiden anderen, sondern, wie erklärlich, auch mannigfaltiger. Denn von ihnen habe ich bei einer immerhin beschränkten Anzahl beobachteter Flechten fünf grüne, einen blauen, vier rothe und sechs braune unterscheiden können. Das macht im Ganzen sechszehn Membranfarbstoffe. Diese Mannigfaltigkeit ist auffallend, wenn man erwägt, dass das Kleid der Flechten im Allgemeinen unscheinbar ist. Schwarze und braune Färbung wiegt in den Apothecien, graue und braune im Thallus vor. Blosse Ausnahmen bilden die seltene Verrucaria rupestris v. purpurascens Schaer. mit ihrem rosenrothen Thallus, Phialopsis rubra Kbr. mit ihren ziegelrothen Apothecien, von welchen die letztere überdies wegen der Kleinheit der gefärbten Organe nur bei näherer Betrachtung in die Augen fällt. Sonst rühren lebhafte, weithin sichtbare Färbungen immer von krystallisirten, nicht von Membranfarbstoffen her. Die Mannigfaltigkeit letzterer ist nur mittels mikroskopischer oder chemischer Untersuchung zu erkennen, ersteres weil viele von ihnen die Flechtentheile in solcher Menge imprägniren, dass diese dem blossen Auge schwarz erscheinen, letzteres weil manche derselben selbst unter dem Mikroskop gleich aussehen und dennoch gegen dasselbe Reagenz verschieden reagiren. So rührt nach meinen Untersuchungen die schwarze Färbung der Apothecien einer beschränkten Anzahl von Krusten- und Laubflechten von nicht weniger als acht verschiedenen Pigmenten her, nämlich von einem violetten (Sagedia declivum Bagl.), einem blauen (Biatora atrofusca Th. Fr.), vier grünen (Arten der Gattungen Lecidea, Aspicilia, Thalloidima und Bacidia), von einem rothen (Lecanora atra) und endlich von einem braunen (Arten der Gattungen Parmelia, Physcia, Gyrophora u. a.). Die braunen Pigmente in der Rinde des Thallus von Bacidia fusco-rubella (Hoffm.) Arn., Segestria lectissima Zw., Sphaeromphale clopismoides Anzi, Parmelia glomelli-

---

1) Vergl. Bachmann, Spektroskopische Untersuchungen von Pilzfarbstoffen, p. 23.

fera Nyl. und Parmelia aspidota Ach. sind nicht einmal mittels des Mikroskops, chemisch dagegen um so leichter von einander zu unterscheiden.

Der Farbstoff ist nicht gleichmässig durch die ganze Flechte vertheilt, sondern meist auf eine bestimmte Zone beschränkt. Im Thallus ist die farbstoffführende Schicht fast immer die Rinde; bei gefelderten und zerklüfteten Lagern kann die Färbung auch an den Seiten der Felderchen hinabsteigen bis zum Substrat. Blos im Thallus von Buellia atrata Smith und Rinodina milvina Whlbg. ist das Mark durch und durch braun gefärbt. Die Hyphen der Gonidienschicht dagegen sind stets farblos. Im Apothecium ist die Färbung nicht mit solcher Ausschliesslichkeit auf einen Ort beschränkt; denn ausser dem Epithecium und dem thalloidischen Rand ist sehr häufig auch das Hypothecium, seltener das Hymenium Sitz eines Pigments. Hier sind immer nur die Paraphysen, nicht die Asci gefärbt. Die einzige Ausnahme von dieser Regel fand ich bei Pertusaria subobducens Nyl. Manchmal enthält das Epithecium denselben Farbstoff wie der Rand und der Thallus; häufig aber ist er hier ein anderer als dort. Gewöhnlich ist der des Epitheciums von dem des Hypotheciums verschieden; denn während letzteres fast stets einen braunen Farbstoff führt, ist ersteres oft mit ganz anderen imprägnirt. Die Mündungen der Spermogonien hatten in den wenigen von mir hierauf untersuchten Flechten stets denselben Farbstoff wie das Epithecium, auch wenn die Rinde des Thallus einen andern besass. Im Thallus ist meist kein Unterschied zwischen dem Membranfarbstoff der ober- und unterseitigen Rinde; eine Ausnahme macht jedoch Parmelia glomellifera Nyl. — Weitere Belege für die Thatsache, dass zwei ganz verschiedene Farbstoffe dicht bei einander und unter denselben Verhältnissen in ein und derselben Flechte auftreten können, lieferten mir einige Mikrolichenen. Die erste ist Cercidospora epipolytropa (Mudd.) Arn., die im Hymenium von Lecanora polytropa Th. Fr. schmarotzt und nicht allein im Apothecium, sondern auch in den dünnen gegliederten Hyphen, welche die Fruchtschicht des Wirthes kreuz und quer durchziehen, einen grünen Farbstoff von charakteristischer Reaction besitzt. In dem Wirth konnte derselbe nicht nachgewiesen werden; das Epithecium enthält eine gelbliche, krystallisirte

Substanz. Ferner fand ich im Thallus und Hymenium von Aspicilia verrucosa (Ach.) Kbr. einen Schmarotzer, welcher gleich dem Epithecium des Wirthes einen grünen Membranfarbstoff führt. Doch wird, von anderen unterscheidenden Reactionen abgesehen, das Grün des Parasiten von Salpetersäure weinroth gefärbt, das andere dagegen nicht wesentlich verändert. In dem kleinen Apothecium von Callopisma executum Nyl. sind drei verschiedene Farbstoffe enthalten: im Hypothecium ein brauner, im Rand ein grüner, im Epithecium Chrysophansäure.

Nicht selten wird die eigentliche Färbung verdeckt oder abgeschwächt. Das kann durch ein weisses, krystallisirtes Excret geschehen, welches die Oberfläche des gefärbten Flechtentheiles reifartig bedeckt. In vielen Fällen besteht dasselbe aus oxalsaurem Calcium, z. B. bei Parmelia pulverulenta f. lilacina Arn., deren Thallus infolge der genannten Ausscheidung ein bläulichweisses Aussehen besitzt. Die Apothecien von Physcia stellaris (L.) Nyl., P. aipolia Ach. und anderen Laubflechten[1]) sind meist grau, die von Thalloidima candidum (Web.) Kbr. und Th. Toninianum Mass. immer blau bereift; die von Placodium saxicolum (Poll.) Kbr. sind manchmal von einem völlig weissen Rand umgeben, während derselbe meistens von einer krystallisirten gelben Flechtensäure gelbbraun gefärbt erscheint; selbst die Scheibe und der Thallus sind zuweilen weiss bestäubt. In all diesen Fällen zeigte der Reif die Reactionen des Calciumoxalats, und wahrscheinlich ist die genannte Substanz meistentheils die Ursache des so häufigen Bereiftseins gefärbter Flechtentheile. Stärker noch als durch blossen Reif wird die eigentliche Färbung gedämpft, wenn das Kleesalz der Rinde in reichlicher Menge eingelagert ist, wie in den blassröthlichen Thalluspolstern von Thalloidima Toninianum Mass., wo nur die Hyphen der inneren Hälfte der Thallusrinde einen intensiv gelbrothen Membranfarbstoff enthalten, die der äusseren dagegen farblos sind, dafür aber den oxalsauren Kalk führen. Auf

1) In Form dieser reifartigen Bedeckung ist demnach oxalsaurer Kalk keineswegs eine Seltenheit bei den Laubflechten; als reichliche Einlagerung in Rinde oder Mark dagegen habe ich ihn ebensowenig gefunden wie frühere Beobachter. Vergl. de Bary, l. c. p. 439.

demselben Princip beruht die blassrothe Färbung der Apothecien von Baeomyces roseus Pers. und Icmadophila aeruginosa (Scop.) Trev., nur dass die dämpfende, abschwächende Schicht eine krystallisirte Flechtensäure enthält, bei jener eine farblose, welche von Kalilauge ohne Farbenänderung gelöst wird, bei dieser eine ganz blassgelbliche, die sich in Kalilauge mit intensiv gelber Farbe auflöst. Die Dicke dieser Schicht beträgt bei ersterer etwa 12, bei letzterer 30 μ. Die wahre, nämlich eine intensiv gelbrote Färbung erkennt man, wenn man durch Reiben mit einem feuchten Tuch, durch Kratzen mit einem Scalpell oder auch durch Entfernung der Rinde mittels eines dünnen Tangentialschnittes das Innere blosslegt. Der betreffende Farbstoff aber ist bei Baeomyces ein gelbrothes Oel in den Paraphysen des Apotheciums, bei Icmadophila hingegen ein Membranfarbstoff, welcher am Grunde des Hymeniums in grösserer Menge bemerkt wird, als in diesem selbst. — Die eigentliche Färbung kann aber auch durch eine tieferliegende Substanz abgeschwächt oder verändert werden; so bei Lecidea aglaea (Smrft.) Kbr., L. armeniaca DC. u. a., wo die Thallusrinde einen intensiv grünen Farbstoff enthält und trotzdem blos hellgrünlich bis gelblich aussieht, weil der innere Theil der Rinde und das Mark so reichlich mit oxalsaurem Kalk erfüllt sind, dass sie mit weisser Farbe durchscheinen. Bei den schwarzen Apothecien ist das nicht möglich, obschon sie denselben grünen Membranfarbstoff enthalten, erstens weil die gefärbte Schicht (das ganze Hymenium) viel dicker, zweitens weil die Intensität der Färbung viel grösser ist. — Völlig übertönt wird die Färbung der oberflächlichen Schicht durch die einer tieferen bei Physcia olivacea und Verwandten, deren Thallus mehr oder weniger lebhaft grün aussieht, obschon die oberseitige Rinde einen braunen Farbstoff enthält. Doch führt sie denselben nur in so geringer Menge, dass das Grün der Gonidienschicht, selbst im trockenen Zustand der Flechte, deutlich durchscheinen kann. Nur einen Fall habe ich kennen gelernt, wo die Oberfläche farblos ist und der Farbstoff seinen Sitz in einer tieferen Schicht hat, nämlich im Apothecium von Gyalecta cupularis Kbr., dessen Subhymenium einen gelbrothen Membranfarbstoff führt, der durch das darüber befindliche Hymenium deutlich durchscheint. Eine Eigenthümlichkeit mancher, besonders der grünen und grünblauen Farbstoffe, ist ihre

inneren Hautschichten. Folglich stimmen die Flechten in diesem Punkte, wie nicht anders zu erwarten war, mit den höheren Pflanzen, insbesondere den Farbhölzern [1]), überein. Doch ist diese Regel bei den Flechten nicht ganz ohne Ausnahme, zumal in den Apothecien; aber auch in der Thallusrinde einiger Arten (Cornicularia tristis Ach., Parmelia prolixa Ach.) ist die Mittellamelle heller als die zweite Hautschicht, wenn auch nicht, wie die innerste Lamelle, ganz farblos (s. Taf. I, Fig. 3, 4, 5). Ueberhaupt ist letztere in der Rinde der Parmelia- und Physcia-Arten sowie anderen Laubflechten immer die hellste unter den zwei bis drei Schichten, aus denen ihre Zellhäute zusammengesetzt sind. Entweder erscheint sie unter dem Mikroskop völlig farblos oder doch nur gelblich, die nächst äussere, oder die den benachbarten Zellen gemeinsame Mittellamelle hingegen mehr oder weniger dunkelbraun gefärbt. In der unterseitigen schwarzen Rinde von Parm. caperata, saxatilis u. a. ist sie zwar fast ebenso dunkel gefärbt, wie die äusseren Lamellen; allein dann findet diese Anhäufung von Farbstoff erst im Alter statt. Nicht immer besitzt die gefärbte Lamelle ringsum den gleichen Grad von Dunkelheit, sondern ist oft an der nach aussen gewendeten Seite dunkler (Cornicularia tristis, s. Fig. 5; Parmelia prolixa, s. Fig. 3, 4). Am auffallendsten zeigen dies Rinden, die nur 1—2 Zellschichten dick sind (Parm. olivacea, f. fuliginosa Fr., P. revoluta Flk.). Im Gegensatz hierzu ist die äusserste, gefärbte Zellschicht manchmal noch von einer durchsichtigen, farblosen Membranlamelle von nicht unbeträchtlicher Dicke bedeckt (Rinde von Cornicularia tristis, s. Fig. 5; Apothecium von Lecanora badia (Pers.) Ach.). Auch die Wand der gefärbten Sporen von Physcia stellaris (B.) Nyl. und Rhizocarpon geographicum (L.) DC. fand ich zweischichtig, und zwar ist nur die Aussenlamelle braun, die innere farblos und (in Glycerin liegend) dicker als jene.

In den Apothecien ist die Differenzirung der Membranen und die Vertheilung des Farbstoffes auf die einzelnen Lamellen derselben nicht nur complicirter, sondern auch schwieriger zu ermitteln. Schnitte parallel den Paraphysen geben nur dann ein klares Bild, wenn die Färbung ausnehmend dunkel ist (Lecanora atra Ach., Rhizocarpon geographicum

---

1) Weiss, Anatomie der Pflanzen, p. 137.

(L.) DC.), und auch da nicht immer, weil man nicht erkennen kann, ob nicht innerhalb einer gefärbten Lamelle eine farblose liegt. Die beste Methode, über den Bau der Apothecien in's Klare zu kommen, besteht darin, möglichst dünne Tangentialschnitte herzustellen und diese serienweise anzuordnen. Drei bis fünf Schnitte genügen in den meisten Fällen zur Erkennung der Beschaffenheit der Membranen von dem (farblosen) Hymenium an bis zu der am stärksten gefärbten Oberfläche des Epitheciums; denn die Intensität der Färbung nimmt stets nach aussen zu. An solchen Schnittserien lässt sich nicht nur erkennen, *dass die Paraphysen stets mehrschichtige Wände haben, sondern auch, dass die Zahl der Membranlamellen von innen nach aussen zunimmt*: Paraphysenwände, welche im Hymenium zweischichtig sind, weisen im Epithecium drei oder sogar vier Lamellen auf. *Die innerste, das enge Lumen unmittelbar umgebende Hautschicht ist stets farblos und meistens in der ganzen Länge der Paraphyse von gleicher Dicke.* Nur bei Physcia ciliaris (L.) DC. nimmt sie nach aussen an Dicke zu. *Im Hymenium ist sie nur von einer einzigen Hautschicht umgeben; diese ist farblos, quellbar und viel mächtiger als die Innenlamelle.* Sie sieht ganz homogen aus, gleich der früher als Intercellularsubstanz bezeichneten Mittellamelle mancher Samenschalen, Fucoideen und Endosperme. Weiter nach aussen, d. h. nach der Oberfläche des Apotheciums, differenzirt sich die Mittellamelle in mehrere Schichten. Nach ihrer Zahl und der Vertheilung des Farbstoffes in ihnen konnten folgende Fälle unterschieden werden:

A) Die Mittellamelle ist nicht die dunkelste Hautschicht.

I. *Typus.* Da, wo das Hymenium in das Epithecium übergeht, wo dieses anfängt, gefärbt zu sein, befindet sich zwischen der Mittel- und Innenlamelle noch eine *zweite* Hautschicht, die gefärbt ist und in Tangentialschnitten ringförmige Gestalt hat. Die beiden erstgenannten Hautschichten sind farblos. Noch weiter nach aussen vermisst man die Mittellamelle meist gänzlich; dagegen ist die zweite nicht nur intensiver gefärbt, sondern auch dicker geworden. Nur zwischen einzelnen Paraphysen sieht man sich die farblose Mittellamelle bis nach aussen fortsetzen (Phialopsis rubra Kbr., Lecidea

parasema Ach., L. promiscens Nyl., Aspicilia caesio-cinerea Nyl.), s. Taf. I, T. I.

II. Typus. Wie voriger, aber an der Oberfläche des Epitheciums ist nicht allein die zweite Lamelle der dreischichtigen Wände gefärbt, sondern auch die Mittellamelle, aber nicht so dunkel wie jene. Weiter innen, an der Innenseite des Epitheciums ist von den drei Zellschichten nur die Mittellamelle braun gefärbt, die zweite Hautschicht dagegen farblos (Physcia stellaris (L.) Nyl., Ph. ciliaris (L.) DC., Ph. pulverulenta (Schreb.) Nyl., Aspicilia alpina (Smrft.) Lecanora badia Ach.), s. Taf. I, T. II.

III. Typus. Unterscheidet sich vom vorigen blos dadurch, dass die hellbraune Mittellamelle noch weiter differenzirt ist, und zwar in eine dünne, dunklere, mittelste Schicht und zwei hellere, von denen je eine den beiden aneinander stossenden Wänden der benachbarten Zellen angehört. Doch umgiebt die braune, mittelste Lamelle nicht jede einzelne, sondern immer nur Gruppen von zwei, drei und mehr Zellen (Parmelia conspersa Ach., P. prolixa Ach.), s. Taf. I, T. III.

B) Die Mittellamelle ist die dunkelste Hautschicht.

IV. Typus. Im Hymenium sind die Paraphysenwände zweischichtig: die innerste Lamelle ist dünn und bläut sich in Jod nicht; die äussere ist viel dicker, von gleichförmiger Beschaffenheit, quellbar und wird von Jod gebläut. Am Grunde des Epitheciums sind die Wände dreischichtig: zwischen der Innen- und der Mittellamelle befindet sich noch eine zweite Hautschicht, welche, wie auch die vorher erwähnte, bräunlich gefärbt ist. — Nach der Oberfläche des Epitheciums hin wird die zweite Lamelle immer dicker, die Mittelschicht immer dunkler, so dass sie hier jene an Intensität der Färbung weit übertrifft (Rhizocarpon geographicum DC.), s. Taf. I, T. IV.

V. [illegible]s. Die Mittellamelle ist vom Grund bis zur Ober[illegible]oetheciums braun gefärbt, nicht quellbar und ziem[illegible]schen ihr und der gleichmässig dünnen, nicht quell[illegible] Innenlamelle befindet sich der quellbare Theil der [illegible]er unterhalb des Epitheciums fast farblos und ein[illegible] Epithecium aber zweischichtig und blassroth gefärbt

ist. Allerdings ist diese Zweischichtigkeit nur im gequollenen Zustand zu sehen. In Alkohol contrahiren sich die beiden Lamellen so stark, dass sie nur noch einschichtig erscheinen; ihre Färbung ist dann aber ebenso dunkel, wie die der Mittellamelle (Lecanora atra Ach.), s. Taf. I, T. V.

Es ist aber nicht wahrscheinlich, dass hiermit die Mannigfaltigkeit des Baues der Paraphysen und Apothecien erschöpft ist, andererseits steht mit Sicherheit zu erwarten, dass die unterschiedenen Typen durch Uebergänge mit einander verbunden sind. — Unter allen Apothecien nimmt das von Biatora atrofusca Th. Fr. eine Sonderstellung ein, insofern als der Farbstoff in Form kleiner blauer Fleckchen und Pünktchen oder ganzer Gruppen solcher in die Membranen der Saftfäden eingelagert ist, so dass es auf den ersten Blick den Anschein hat, als wären kleine Körnchen eines Excrets in Lücken des Hymeniums eingeschlossen. Genaueres hierüber, wie auch über die beiden nichtkrystallisirten Farbstoffe, die wirklich als Excrete zu betrachten sind, wird der specielle Theil bringen.

Die anatomische Beschaffenheit des Epitheciums stimmt, wie aus dem Obigen hervorgeht, mit der der Thallusrinde der Laubflechten gut überein, wogegen das Hymenium ganz anders gebaut ist. Das erklärt sich leicht aus den Functionen beider. Dieses hat durch seine mächtigen quellbaren Schichten die Sporenausstreuung zu bewirken; jenes bildet über dem zarten, schlauchführenden Gewebe des Apotheciums eine schützende Decke, wie die Thallusrinde über dem Marke und der Gonidienschicht.

Die Frage, ob und in wie weit sich die Farbstoffe bei ihrem Auftreten nach dem System der Flechten richten, kann selbstverständlich nur auf Grund ganz umfassender Untersuchungen endgiltig beantwortet werden. Trotzdem will ich meine auf diesen Punkt bezüglichen Erfahrungen mittheilen, wenn auch nur in der Hoffnung, dass dadurch einige nützliche Fingerzeige für spätere Untersuchungen gegeben werden. — Bei Beantwortung dieser Frage muss man streng unterscheiden zwischen specifischen Farbstoffen, d. h. solchen, welche nur auf eine einzige Art beschränkt sind (Parmelia glomellifera Nyl., Verrucaria Hoffmanni Hepp., f. purpurascens Hoffm., Segestria lectissima Zw., Sphaeromphale clopismoides Anzi, Bacidia fusco-rubella Arn., Bacidia

atrofusca Th. Fr., Arthonia gregaria Kbr., Phialopsis rubra Kbr.), und solchen, die bei mehreren oder sogar vielen Arten derselben oder verschiedener Gattungen vorkommen. Nur letztere können hier in Betracht kommen. Zu ihnen gehört ein grüner Membranfarbstoff, den ich „Aspiciliagrün" genannt habe, weil er fast ausschliesslich in der Gattung Aspicilia auftritt. Von zwölf untersuchten Arten führten ihn zehn; ausserdem fand ich ihn nur noch im Epithecium von Biatora viridescens (Schrad.) Fr. Ein zweites Grün von sehr charakteristischer Reaction färbt das Epithecium dreier Thalloidimaspecies, nicht aber das der drei übrigen Arten, welche noch untersucht worden sind; dagegen habe ich es noch in zwei Arten der Gattung Pertusaria und bei Catillaria athallina (Hepp.) Hellb., also Flechten gefunden, welche im System keineswegs nahe bei Thalloidima stehen. Nicht besser verhält es sich mit dem „Lecideagrün", einem Farbstoff, dem ich diesen Namen geben möchte, weil er in der Gattung Lecidea besonders häufig auftritt. Allein nicht nur, dass er einer Lecideaspecies fehlt, vor Allem kommt er ausserdem bei einzelnen Flechten aus den verschiedensten Gattungen (Buellia, Bilimbia, Aspicilia, Pannaria, Callopisma) vor. Auffallend ist es jedoch immerhin, dass er in der artenreichen Gattung Lecidea (einschliesslich Lecidella) so weit verbreitet ist. Dass Rhizocarpon geographicum DC. und viridiatrum Kbr., zwei Arten, die der Lichenologe in der Regel nur mit Hülfe eines chemischen Reagenzes (Jod) von einander unterscheidet, denselben Farbstoff in ihrem Epithecium besitzen, darf nicht Wunder nehmen. Das gleiche Pigment führen jedoch auch noch Lecanora atra Ach. und Lecidea lithyrga, von welchen zumal die erste im System weit von Rhizocarpon entfernt ist. Auch Bacidia muscorum (Sw.) Arn. und Arthrosporum accline (Fw.) Kbr. besitzen ein und denselben Farbstoff, obschon ihre Verwandtschaft eine ziemlich entfernte ist. — Der braune Farbstoff aber, welcher in der Rinde (besonders der unterseitigen) und im Apothecium aller Parmelia- und Physciaspecies auftritt, findet sich sonst noch so allgemein im Reiche der Flechten verbreitet, dass auch er nicht als Beispiel eines Farbstoffes gelten kann, der sich in seiner Verbreitung dem System anschlösse. Ueberdies kann er in dieser Hinsicht um so weniger als ausschlaggebend angesehen werden, weil seine mikrochemischen Reactionen wenig charakteristisch

sind. Leider muss dasselbe auch von dem Farbstoff gesagt werden, der die Wurzeln von Parmelia pulverulenta Smrft. und die Sporen von Physcia sowie von Rhizocarpon in der Jugend grün färbt, später aber braun wird. Aus alledem folgt, dass eine Beziehung zwischen der Art des Farbstoffes und dem Flechtenpilz nur in beschränktem Maasse anerkannt werden kann. Ob eine solche zwischen den Flechtenalgen oder Gonidien und dem Farbstoff besteht, wage ich nicht zu entscheiden. Uebrigens dürften sich zur Beantwortung dieser wichtigen Frage krystallisirte Flechtenstoffe aus dem Grunde besser eignen, weil sie makrochemisch untersucht werden können, resp. schon untersucht worden sind, ihre Identificirung also sicherer ist als die mancher Membranfarbstoffe.

Die biologische Bedeutung der in Rede stehenden Farbstoffe finde ich in dem Schutz, den sie der Flechte gegen die atmosphärischen und vielleicht auch noch gegen andere schädliche Einflüsse gewähren. Am augenscheinlichsten ist dies bei dem verbreitetsten aller nichtkrystallisirten Flechtenfarbstoffe, dem braunen nämlich, welcher aus der Rinde vieler Laubflechten bekannt ist, aber auch im Thallus und Apothecium der Flechten aller anderen Ordnungen auftritt. Derselbe verleiht nämlich den Membranen eine grosse Widerstandsfähigkeit gegen chemische Reagentien. Je dunkler die Zellwände aussehen, d. h. je reichlicher sie mit dem betreffenden Farbstoff imprägnirt sind, desto schwerer werden sie von starken Säuren und Basen angegriffen, oder um so concentrirter müssen die genannten Flüssigkeiten sein, wenn sie die gefärbten Flechtentheile zerstören sollen. Es ist wohl nicht zu weit gegangen, wenn ich annehme, dass derartig ausgerüstete Membranen auch den zerstörenden Einflüssen der Luft, der atmosphärischen Niederschläge, der Bodenfeuchtigkeit und der Fäulnissorganismen besser zu widerstehen vermögen, als wenn sie farblos wären. —

Bei manchen Laubflechten enthält die oberseitige Rinde den braunen Farbstoff gar nicht, bei anderen weit spärlicher als die unterseitige (fast alle Parmelia-Arten), welche wegen ihrer Lage am Boden des Schutzes viel mehr bedarf. Wo aber die letztere nicht dunkler oder sogar noch heller ist, als die erstere, trägt sie, wie bei mancher Physciaspecies, einen dichten Besatz von dunklen Wurzelfasern. Auch folgende Thatsache spricht für meine Annahme einer Schutz-

wirkung des braunen Pigmentes: Die oberseitige Rinde von Parmelia aspidota Ach. trägt zahlreiche kleine Wärzchen, an deren Spitze die Rinde durchbrochen ist; ferner fehlt hier die Gonidienzone, so dass das lockere Mark, bis an die Durchbruchsstelle reichend, offen zu Tage liegt. Ueberall, wo dies der Fall ist, sind die Markhyphen, gleich der Rinde selbst, braun gefärbt, weiter innen aber durchweg farblos. Wer dächte dabei nicht an die bei höheren Pflanzen beobachtete Erscheinung, dass sich an Wundstellen ein sogenanntes „Schutzholz“ bildet, welches die braune Färbung des Kernholzes annimmt und mit diesem, wie Praël[1]) nachgewiesen hat, auch in seinen physikalisch-physiologischen Eigenschaften (höheres specif. Gewicht, Undurchlässigkeit für Luft und Wasser) übereinstimmt! Auch die Apothecien sind schon im frühesten Zustande, nämlich beim Durchbruch durch die Rinde des Thallus, an ihrer Oberfläche bräunlich gefärbt, was ich allerdings nur bei Physcia stellaris (L.) Nyl. festzustellen mir die Mühe genommen habe. Ob das, was ich jetzt von dem einen Membranfarbstoff ausgesagt habe, auch von den übrigen gilt, wage ich zur Zeit nicht zu unterscheiden, möchte aber hervorheben, dass sie, mit blos zwei Ausnahmen, weder in Wasser noch in verdünnten Säuren oder Basen löslich, überhaupt meistentheils durch grosse Resistenzfähigkeit ausgezeichnet sind. Bedenkt man ferner, dass sie in der Regel dem Epithecium in solcher Menge eingelagert sind, dass sie den Eindruck des Schwarzen hervorbringen, so wird man auch für sie kaum den Gedanken einer Schutzwirkung für die tiefer liegenden schutzbedürftigen Asci und Sporen von der Hand weisen können. Bei alledem bleibt es nicht ausgeschlossen, dass die lebhafteren Farbstoffe mancher Apothecien (Phialopsis rubra Kbr., gewisse Cladonien) eine Beziehung letzterer zu Insecten vermitteln. Allerdings müsste, um diese Vermuthung zu bestätigen, Insectenbesuch nachgewiesen werden, wie dies kürzlich für einen Rostpilz (Gymnosporangium clavariaeforme) von Kienitz-Gerloff[2]) geschehen ist. — Endlich darf nicht unerwähnt bleiben,

---

1) Edm. Praël, Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kernholz der Laubbäume. Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch., Bd. V, p. 417.

2) Kienitz-Gerloff, Die Gonidien von Gymnosporangium clavariaeforme. Bot. Ztg., 46. Jahrg. 1888, No. 25, p. 392.

dass die schützende Wirkung der Flechtenfarbstoffe, sowohl der krystallisirten als auch amorphen, sich wahrscheinlich noch gegen Thiere richtet; und zwar treten nach einer höchst dankenswerthen brieflichen Mittheilung von Arnold in München (v. 20. Jan. 1888) vor Allem Raupen und Schnecken als Flechtenfeinde auf. Was erstere anbelangt, so ist bekannt, dass sich die Raupen mehrerer Spinner und einer Eule (aus den Gattungen Lithosia F., Naclia Bd., Bryophila Tr.) von Flechten nähren. Ob sie hierbei eine Auswahl treffen, gewisse Flechten verschmähen, andere bevorzugen, darüber konnte ich nichts ausfindig machen. Schnecken sind von Arnold an Peltigera und auf Buchen an Rindenflechten fressend beobachtet worden. Die meisten Arten der Gattung Peltigera mit ihrem verhältnissmässig zarten, flechtensäurefreien Thallus besitzen keinerlei Schutzmittel, durch welche hungrige Schnecken zurückgeschreckt werden könnten. Andere Flechten dagegen sind um so besser geschützt, besonders durch chemische Schutzmittel. Unter diesen dürfte der oxalsaure Kalk, so verbreitet bei den Krustenflechten, eine Hauptrolle spielen. Aber auch andere krystallinische Flechtenstoffe, von denen sich bekanntlich einzelne durch intensive Bitterkeit oder brennenden Geschmack auszeichnen (Pikrolichenin, Cetrarsäure, Ceratophyllin, Patellarsäure u. a.), sind wahrscheinlich nicht weniger im Stande, Schutz vor Schnecken zu gewähren, die nach Stahl's[1]) schönen Untersuchungen gegen chemische Mittel ganz besonders empfindlich sind. — Dass auch der eine oder andere von den Membranfarbstoffen, z. B. der braune der Parmeliaceen, durch seine erhärtenden Eigenschaften zugleich einen mechanischen Schutz gegen Thiere zu üben vermag, ist möglich. Stahl hat Flechten nicht mit in den Bereich seiner Experimente gezogen. Meine Versuche, die ich, durch Arnold angeregt, in dieser Hinsicht bisher angestellt habe, sind noch nicht zum Abschluss gekommen.

1) Stahl, Pflanzen und Schnecken. Eine biolog. Studie über die Schutzmittel der Pflanzen gegen Schneckenfrass. Jenaische Zeitschr. f. Natur u. Med., Bd. XXII.

II.

Specieller Theil.

Es folgt die eingehende Beschreibung der einzelnen Farbstoffe und die Aufzählung der Flechten, in welchen sie gefunden worden sind.

I. Grüne Farbstoffe

konnte ich fünf unterscheiden, welche ich der Kürze halber in der Regel nach der Gattung benennen will, in welcher sie am häufigsten gefunden worden sind. Der verbreitetste unter ihnen ist:

1. Das Lecideagrün.

Es wird von Salpetersäure roth gefärbt, und zwar je nach seiner grösseren oder geringeren Reinheit schön wein- bis kupferroth und selbst rostroth. Concentrirte Säure bewirkt diese Farbenänderung ausserordentlich schnell, zerstört aber auch den Farbstoff binnen Kurzem. Kalilauge, Ammoniakliquor und wahrscheinlich auch andere Basen bringen keine wesentliche Veränderung hervor, ebensowenig Schwefel- und Salzsäure. Dagegen wird er von letzterer rein blau gefärbt, wenn man ihn vorher kurze Zeit mit Kalilauge behandelt hat.

Die ihn führenden Flechtentheile erscheinen dem unbewaffneten Auge stets schwarz, mit einziger Ausnahme von Pannaria caeruleobadia (Schaer.) Schl., wo er dem Thallus eine grünbläuliche Färbung verleiht. Unter dem Mikroskop erweist er sich entweder rein grün, z. B. im Hypothecium von Callopisma executum Nyl., im Epithecium von Lecidea grisella Flk., L. vorticosa (Flk.) Kbr., L. lithyrga Fr. und überhaupt allen den Arten der letztgenannten Gattung, von welchen der Lichenologe sagt: „Paraphysen smaragdgrün". Bei anderen dagegen ist die Farbe schmutzig- bis olivengrün oder sogar grünlichbraun (Lecidea intumescens Fw., L. crustulata (Ach.) Kbr., L. platycarpa Ach. f. flavicunda Ach., L. speira Ach., Rhizocarpon distinctum Th. Fr. u. v. a.). Allerdings ist der bräunliche Ton häufig, vielleicht immer, auf Rechnung des Alters des betr. Flechtentheiles zu schreiben. Bei Lecidea macrocarpa Th. Fr. fand

ich den Farbstoff noch rein grün, als das Apothecium knapp 1 mm im Durchmesser hatte, dagegen bereits braungrün, als der Durchmesser $1^1/_2$ mm betrug. Im sporenreifen Zustande ist das Apothecium von Lecidea crustulata braun gefärbt; etwas früher, wenn die Schläuche noch schmal keulenförmig sind, ist es olivengrün und zeigt die charakteristischen Reactionen. Die Ursache der Veränderung kann nicht ausserhalb der Flechte, etwa in der Atmosphäre liegen, sonst könnte der Farbstoff nicht in der einen Art zeitlebens unverändert bleiben, während er in einer anderen früh sein schönes Aussehen verliert. — Bei einigen Arten (Lecanora Agardhiana Ach., Bilimbia trisepta (Naeg.) Arn., Lecidea caerulea Krplh. und Aspicilia flavida Hepp. f. caerulans Arn.) ist das Epithecium mehr blau als grün, bei der letzten Art sogar fast rein blau, dass man in Zweifel gerathen könnte, ob man es hier mit dem Lecideagrün zu thun hat, wenn nicht die mikrochemischen Reactionen die gleichen wären. Das in's Blaue gehende Grün von L. enteroleuca Ach., L. platycarpa Ach., L. Wulfeni Heppe, L. turgidula Fr. und Bilimbia melaena (Nyl.) Arn. bildet den Uebergang zwischen dem reinen Grün der L. vorticosa und dem Blau der Bilimbia trisepta Arn. Möglicherweise aber liegt all diesen Färbungen ein und derselbe Farbstoff zu Grunde, nämlich ein blauer, der durch Beimengung eines gelbbraunen in's Blaugrüne, Grüne bis Grünlichbraune verändert wird. Nimmt die Einlagerung desselben mit dem Alter immer mehr zu, wie bei L. crustulata, L. macrocarpa u. a., so kann zuletzt fast der letzte Schimmer des Grün verschwinden.

Was den Ort der Einlagerung in der Flechte anlangt, lassen sich vier Fälle unterscheiden: a) Nur einmal fand ich das Hypothecium schön grün gefärbt, während das Epithecium Chrysophansäure führte (Callopisma executum Nyl.). b) Manchmal enthält das ganze Hymenium den grünen Farbstoff; dann ist die Färbung stets an der Oberfläche des Apotheciums am dunkelsten und nimmt nach innen erst schnell, dann allmählich ab (L. vorticosa Kbr., L. arctica (Smrft.) Kbr., L. lithyrga Fr.). c) Gewöhnlich ist nur das Epithecium gefärbt (L. tenebrosa Fw., L. aglaea Smrft., L. marginata Schaer., L. parasema Ach., L. platycarpa (Ach.) Kbr., L. platycarpa f. flavicunda Ach., L. sublutescens Nyl., L. crustulata (Ach.) Kbr., L. lactea Flörke, L. Pilati (Hepp.) Arn., L. athroocarpa Ach., L. latypaea Ach., L. fuscoatra (L.) Whlbg., L. fuscoatra f. subcontigua Fr.,

Rhizocarpon distinctum Fr., Rh. obscuratum (Ach.) Kbr., L. promiscens Nyl., Biatora infidula Nyl.). d) Vom Hymenium kann sich die grüne Färbung auch auf den Rand des Apotheciums ausdehnen, welcher stets nur oberflächlich und meistens nicht so lebhaft gefärbt ist wie das Epithecium (L. Pilati Arn., L. athroocarpa Ach., L. marginata Schaer., L. incongrua Nyl.). Wo das Lecideagrün im Rand des Apotheciums auftritt, fehlt es wohl auch nicht in der Rinde des Thallus; wegen der raschen Veränderung, die es hier erleidet, ist es jedoch an diesem Orte nicht immer leicht nachzuweisen. Sicher beobachtete ich es im Thallus von L. tessellata Flk., Lecanora Agardhiana Ach., Buellia atrata Smith. Merkwürdig ist sein Auftreten in den Soredien von Pannaria caeruleo-badia (Schaer.) Schl., deren Hyphen den Farbstoff in reichlicher Menge enthalten, während er in der Rinde des Thallus nicht enthalten ist. Pannaria microphylla (Sw.) Mass. führt ihn blos an einzelnen sehr zerstreuten und kleinen Punkten der Thallusrinde, welche übrigens braun gefärbt ist. Ich hebe dies besonders hervor, weil in den lichenologischen Werken von diesen Flecken nirgends die Rede ist; eine Beziehung derselben zu Apothecien, Spermogonien oder Soredien konnte ich nicht feststellen.

Wie die oben angeführten Arten zeigen, ist das Lecideagrün nicht auf die Gattung Lecidea beschränkt, sondern wurde auch noch in je zwei Arten der Gattungen Pannaria, Rhizocarpon, Bilimbia, je einer Art der Gattungen Buellia, Lecanora und Aspicilia, endlich in zwei Mikrolichenen, von denen die eine Art vorläufig nicht bestimmbar war, beobachtet. Von 29 Arten und Formen der Gattung Lecidea führten ihn alle mit Ausnahme einer einzigen (L. canescens Ach.).

2. Das Aspiciliagrün.

So nenne ich den Farbstoff, welcher sich äusserlich von dem vorher beschriebenen nicht unterscheidet, mit ihm auch darin übereinstimmt, dass er alle Uebergänge von rein grün bis grünlichbraun zeigt. Chemisch verhält er sich jedoch ganz anders; denn von verdünnter Salpetersäure wird er noch lebhafter grün gefärbt, was besonders bei den Arten auffällt, wo er einen bräunlichen Ton hat. Salzsäure für sich verändert

den Farbstoff nicht, Kalilauge färbt ihn mehr gelb- bis bräunlichgrün und löst ihn, wenn sie in concentrirtem Zustand angewendet wird, zum Theil auf; ja aus ganz dünnen Schnitten wird er durch dieses Reagenz gänzlich entfernt. Erst Kalilauge, dann Salzsäure angewendet, färbt nicht blau, wie beim Lecideagrün, sondern führt die ursprüngliche Färbung zurück. Concentrirte Salpetersäure löst auch auf, färbt aber zugleich gelb und zerstört ihn. Darum färbt sich auch ein Tropfen concentrirter Säure, in welchen man ein ganzes Apothecium bringt, bald gelb, nicht aber grün.

Mit blossem Auge betrachtet erscheint er im Apothecium stets schwarz, im Thallusrande von A. silvatica und, nach Nägeli[1]), in dem von A. calcarea grün oder bläulich; hier ist die Salpetersäurereaction auch makroskopisch zu erkennen. — Bei allen Arten, deren Epithecium das grüne Pigment enthält, ist jedenfalls auch die Mündung der Spermogonien grün gefärbt, so bei A. candida, cinerea L., caesio-cinerea Nyl. Von letzterer sieht aber die Rinde des Thallus durchweg grün aus, wenn auch nur olivengrün bis -bräunlich und weist auch die charakteristische Salpetersäurereaction auf. Im Thallus von A. silvatica dagegen unterbleibt diese, obgleich seine Rinde den grünen Farbstoff ursprünglich auch enthalten hat, nur dass derselbe sich allmählich in einen graubraunen umgewandelt hat, den die Salpetersäure nicht mehr zu verändern vermag. Es ist hier leicht, den allmählichen Uebergang aus dem einen in den anderen schrittweise zu verfolgen; denn nur der Rand des Thallus ist in einer Breite von etwa $^1/_2$ mm rein grün gefärbt; darauf folgt eine olivengrüne Zone von etwa 4 mm Breite, welche von Salpetersäure lebhafter grün gefärbt wird. Innerhalb dieser Zone sieht der Thallus grauschwarz aus und reagirt auf genannte Säure nicht mehr. Sein äusserster Rand ist auf eine Breite von 90—100 μ von sehr feinfaseriger Beschaffenheit und völlig farblos; die Gonidien fehlen hier und treten erst von der nächsten Zone an auf, was auf einen directen Einfluss der Algenzellen auf die Bildung des Farbstoffes hinzudeuten scheint. — Rein grün ist der Farbstoff im Apothecium

1) Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, I. Aufl., p. 508.

von A. verrucosa Ach., A. silvatica Zw., A. adunans Nyl., f. glacialis Arn., A. laevata Fr., f. albicans Arn., oliven- bis braungrün in dem von A. caesio-cinerea Nyl., A. gibbosa Ach., A. calcarea (L.) Mass., A. candida Anzi und A. cinerea L. Er fehlt bei A. alpina Smrft. und A. flavida f. caerulea Arn. Die Gattung Aspicilia ist die einzige, in der er bisher beobachtet wurde. Nachträglich habe ich ihn auch noch im Apothecium von Biatora viridescens (Schrad.) Fr. beobachtet.

3. Das Bacidiagrün

ist in seinem Auftreten auch sehr beschränkt; ich fand es bisher nur in den beiden Flechten Bacidia muscorum[1] (Sw.) Arn. und Arthrosporum accline (Fw.) Kbr. Mikrochemisch ist es dadurch ausgezeichnet, dass er von Basen (es wurde mit Kalilauge, Ammoniakliquor und Barytwasser geprüft) nicht verändert, von verdünnter Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure aber violett gefärbt wird. Concentrirte Salpetersäure löst das Pigment sogar mit violetter Farbe auf; in concentrirter Schwefelsäure geht die violette Färbung bald in's Blaue über, bis endlich Entfärbung eintritt. Bemerkenswerth ist die Feinheit der Reaction, welche so gross ist, dass selbst ganz verdünnte Säuren in kürzester Zeit die Farbenänderung bewirken. Fügt man darauf eine Basis hinzu, so wird die ursprüngliche Färbung alsbald zurückgeführt. — Bei beiden Flechten führt nur das Epithecium den Farbstoff. Ueber die Vertheilung desselben in den einzelnen Membranschichten wurden keine Untersuchungen angestellt.

4. Das Thalloidimagrün

verhält sich gerade umgekehrt wie der oben beschriebene grüne Farbstoff. Denn es wird von Kalilauge, Ammoniak und Barytwasser sehr schön violett gefärbt. Kalilauge löst es sogar zum Theil auf: man sieht nach Zusatz dieses Reagenzes zu einem Präparat deutlich Ströme des violetten

---

1) Vergl. Bachmann, Mikrochemische Untersuchungen auf Flechtenstoffe etc. in Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie, Bd. III, p. 216.

Farbstoffes durch die umgebende farblose Flüssigkeit ziehen. Barytwasser löst nicht auf. Die drei Mineralsäuren, in verdünntem Zustande angewendet, färben undeutlich purpurroth oder besser schmutzigroth. Wenn darauf eine Basis hinzugefügt wird, kehrt die violette Färbung zurück. Nach Behandlung mit concentrirter Salpetersäure aber bringen Basen nur noch ein unschönes Braun hervor, ein Beweis, dass durch die starke Säure der grüne Farbstoff zerstört worden ist.

Der Farbstoff sieht bei allen Flechten gleich aus, nämlich bläulichgrün, niemals aber rein grün. Er wurde gefunden bei Thalloidima candidum (Web.) Kbr., Th. rosulatum Anzi, Th. diffractum, Catillaria athallina (Hepp.) Hellb., ferner bei Pertusaria inquinata (Ach.) Th. Fr. und P. subobducens Nyl. Nicht gefunden habe ich ihn bei Thalloidima tabacinum Ram., Th. mammillare Gouan, Th. Toninianum Mass. und Pertusaria Wulfenii DC. Bei den drei Thalloidimaspecies und Catillaria ist nicht nur das Epithecium, sondern auch der die Fruchtscheibe umgebende Rand an seiner Oberfläche grüngefärbt, wenn auch weniger deutlich als jenes. Pertusaria subobducens Nyl. ist ganz besonders merkwürdig dadurch, dass nicht blos die Paraphysenspitzen, sondern manchmal auch die Enden der reifen, sehr weiten Asci in ihrer dicken Wand den grünen Farbstoff enthalten. In dem Apothecium der anderen Pertusariaspecies sind die sehr langen Saftfäden auf etwa ein Fünftel ihrer Länge gefärbt; nur stellenweise lässt sich der grüne Schein bis zum Grunde des Hymeniums verfolgen. Der Thallus und der Rand des Apotheciums haben einen bräunlichen Farbstoff, welcher nur etwas in Grün übergeht und durch die oben genannten Reagentien nicht in der angegebenen Weise verändert wird. Bei Catillaria athallina erscheint an dicken Schnitten das ganze Hymenium gefärbt, an dünnen reicht die violette Färbung blos stellenweise bis zum Grund des Hymeniums, und zwar in Form von Kegeln, welche ihre Spitze nach innen wenden. Ueberhaupt sind, wie man an guten Tangentialschnitten sehen kann, nicht alle Paraphysen gefärbt, sondern nur regellos vertheilte Bündel von fünf und mehr Saftfäden, welche durch farblose Paraphysenbündel von einander getrennt sind. Zwischen den violetten Flecken wird häufig eine schmale Brücke durch einzelne

gefärbte Hyphen gebildet. Die Membranen der farbigen Paraphysen sind zwei- bis dreischichtig: Die den benachbarten Zellen gemeinsame quellbare Mittellamelle ist stets farblos; innerhalb dieser befinden sich noch ein bis zwei im Tangentialschnitt genau ringförmig erscheinende Lamellen, die beide gefärbt sind. In der äusseren ist die Färbung dunkler als in der inneren.

5. Das Rhizoidengrün

ist weniger charakteristisch als die bisher beschriebenen grünen Pigmente. Es färbt die sogenannten Rhizoiden von Parmelia pulverulenta (Schreb.) Nyl. bläulichgrün, aber nur in ihrer Jugend und ist deshalb auch blos an den randständigen Wurzelfasern zu sehen. Aber bei verschiedenen Exemplaren reicht die Zone der bläulichen Rhizoiden nicht gleich weit; denn während bei manchen nur die äussersten und jüngsten grün gefärbt sind, bedecken sie bei anderen einen Saum von mehreren Millimetern Breite als dichter Filz, dessen dunkelschimmelgrüne Farbe schon mit blossem Auge zu erkennen ist, besonders wenn man ein Stückchen desselben mit der Präparirnadel abreisst und in einen Tropfen Wasser auf den Objectträger bringt. Chemisch ist dieser Farbstoff durch die folgenden Reactionen gekennzeichnet: Kalilauge färbt ihn mehr olivengrün, bei starker Concentration und längerer Einwirkung sogar bräunlich. Fügt man hierauf Salpetersäure hinzu, so tritt im Augenblick der Neutralisation die grüne Färbung wieder hervor, ja sogar noch schöner und lebhafter als sie vorher war. Uebersättigung mit Salpetersäure dagegen verändert in's Olivengrüne, hierauf in's Schmutziggelbbraune bis Gelbliche. Giebt man von vornherein Salpetersäure zu einem Präparat, so treten dieselben Farbenänderungen jedoch ohne das lebhaftere Grün ein. Andere Säuren verändern das Pigment nicht. Hieraus ist ersichtlich, dass dasselbe grosse Aehnlichkeit mit dem von Aspicilia hat, welches es aber an Unbeständigkeit noch übertrifft. Es geht nämlich so schnell in das Lederbraune über, dass häufig nur die Spitze und die äussersten Zweige einer verästelten Wurzel grün aussehen, das Uebrige aber keine Spur mehr davon zeigt. Ausserdem habe ich diesen Farbstoff nur noch in den Wurzelfasern von

Parmelia aipolia Ach. gefunden. — Mit ihm ist aber jedenfalls auch der identisch, welcher in den Wänden der jungen Sporen von Parmelia stellaris (L.) Nyl. und seinen Formen aipolia Ach. und tenella (Web.), von P. pulverulenta und manchen anderen Arten genannter Gattung, sowie der Gattung Rhizocarpon enthalten ist. Denn auch er zeichnet sich durch seine Unveränderlichkeit bei Einwirkung von Säuren, selbst von verdünnter Salpetersäure aus, wogegen er von Kalilauge schmutziggelb bis gelbbraun, immer aber dunkler, sogar bis braunschwarz gefärbt wird. Im Alter wird er dunkelbraun.

II. Blaue Farbstoffe.

6. Biatorablau.

Rein blaue Farbstoffe scheinen bei den Flechten selten zu sein. Denn abgesehen von der bereits oben erwähnten Aspicilia flavida f. caerulans führt nach meinen Untersuchungen blos Biatora atrofusca (Biat. fusca f. atrofusca Th. Fr.) einen solchen, der besonders wegen der Art seiner Einlagerung in die Membran der Paraphysen Aufmerksamkeit verdient. Er scheint nämlich dem farblosen Hymenium in Form kleiner Körnchen eingelagert zu sein, welche man für ein krystallinisches oder amorphes Excret zu halten beim ersten Blick geneigt ist. In dem braunen Schlauchboden sind nur wenige und kleine; vom Grunde des Hymeniums nach dessen Oberfläche hin nehmen sie an Zahl und Grösse zu, im Epithecium sind sie zu einer zusammenhängenden Schicht mit einander verschmolzen. Ihre Gestalt ist nie regelmässig; die der kleinsten ist rundlich, die grösseren sind oft langgestreckt und zwar stets in Richtung des Paraphysenverlaufes. Oefters liegen sie in grösserer Anzahl reihenweise hinter einander, in welchem Falle die Reihe gleichfalls den Paraphysen parallel läuft. Später können sie zu einer zackigen Linie verschmelzen, welche die halbe Länge der Paraphysen noch übertrifft. So habe ich, um ein Beispiel anzuführen, solch eine Linie von 31 μ gemessen, während das Hymenium an derselben Stelle etwa 50 μ dick war. Die kleinsten Körnchen haben einen Durchmesser von 3 μ, eins war 1 μ dick, 3 μ lang, ein zweites 2 μ dick, 6 μ lang. Eine zackige Gruppe von mehreren Körnchen, welche mehrere tiefe Einschnitte, aber nirgends eine durchgehende Trennung zeigte, mass 9 zu 22 μ.

Dass man es in diesen blauen Flecken aber nicht mit wirklichen Körnchen zu thun hat, das lehrt jeder zarte Tangentialschnitt durch ein Apothecium: Die Paraphysen haben zweischichtige Wände; ihre innerste Membranschicht ist dünn, farblos und genau ringförmig. Die andere, die den benachbarten Zellen gemeinsame Mittellamelle, ist dicker, auch farblos und quellungsfähig. Diese ist es, welche den blauen Farbstoff enthält, entweder ringsum, oder zu $1/2$ bis $3/4$ um die farblose Innenschicht herum. Auf letztere erstreckt sich die blaue Färbung nur selten. So verhält es sich in den körnchenarmen, tieferen Regionen des Hymeniums, anders weiter aussen: hier umspannen die blauen Flecke ganze Hyphengruppen und der Farbstoff durchtränkt die einzelnen Zellfäden so vollständig, dass man diese nicht eher sehen kann, als bis der Farbstoff durch chemische Reagentien entfernt worden ist. Dabei wird allerdings die Mittellamelle mit aufgelöst; das übrigbleibende Hyphenbündel besteht also blos aus der Innenschicht der Pilzfäden, welche nun gelb, aber nicht mehr blau aussieht. Dies und der mikroskopische Befund in den tieferen Hymenialschichten lassen keinen Zweifel mehr darüber aufkommen, dass der Farbstoff der Membran ein-, nicht aufgelagert ist. Darum kann derselbe aber nicht, gleich den krystallisirten sogenannten Flechtensäuren, ein Excret sein, wie es bei oberflächlicher Betrachtung den Anschein hat, nicht einmal ein amorphes, harzartiges, wie es bei manchen Pilzen, z. B. Lenzites saepiaria Fries [1]) und bei der Flechte Arthonia gregaria Kbr. vorkommt. Dass die blauen Flecken im dunkeln Gesichtsfeld des Polarisationsapparates nicht leuchten, braucht nach dem eben Gesagten kaum noch hervorgehoben zu werden.

Das chemische Verhalten des Farbstoffes ist das folgende: Von kaltem und kochendem Wasser, von Alkohol, Aether, Schwefelkohlenstoff, alkoholischer Chlorallösung und Eisessig wird er nicht gelöst oder sonstwie verändert. Concentrirte und mit Wasser zur Hälfte verdünnte Kalilauge lösen kleine Flecke aus sehr dünnen Schnitten völlig auf, grössere nur zum Theil; der Rest hat grünblaue

1) Vergl. Bachmann, Spektroskopische Untersuchungen von Pilzfarbstoffen, p. 7.

Farbe, welche Färbung sich auch dem Hymenium in der nächsten Umgebung mittheilt und sogar am Rande des Präparates in die umgebende Flüssigkeit austreten kann. Fügt man nun Salpetersäure hinzu, so werden die grünlichen Flecke gelblich. Giebt man dieselbe von vornherein zu einem Präparat, so färbt sie die Körnchen erst violett und löst sie später unter Gelb-, endlich Entfärbung völlig auf. Einmaliges Aufkochen in genannter Säure führt den Farbstoff mit gelber Farbe in Lösung, welche dann beim Zutritt von Kalilauge sofort dunkler wird, während das Hymenium farblos bleibt. In sehr concentrirter Schwefelsäure wird mit den Saftfäden zugleich der sie durchtränkende Farbstoff ohne Veränderung der Farbe aufgelöst.

III. Violette Farbstoffe.

7. Arthoniaviolett.

Auch die violetten Farbstoffe scheinen in der Klasse der Flechten selten zu sein, denn ich konnte nur einen einzigen auffinden, welcher aber in mehrfacher Hinsicht von besonderem Interesse ist, nämlich einerseits wegen seiner Löslichkeit in Wasser, andererseits weil er als amorphes Excret die Hyphen äusserlich bedeckt. Er findet sich in allen Theilen von Arthonia gregaria (Weig.) Körb, am „häufigsten im Excipulum, zerstreut im Hymenium und Hypothecium, selten im Thallus“[1]), darf aber nicht mit dem krystallisirten zinnoberrothen Pigment verwechselt werden, welches die Oberfläche des Apotheciums ganz oder nur am Rande reichlich bedeckt und Veranlassung gegeben hat, die betreffende Art auch mit dem Speciesnamen „cinnabarina“ zu belegen. Während dieser in Form ausgedehnter Krusten den Rand des Apotheciums oberflächlich bedeckt oder sich streifenförmig in Spalten desselben hinabzieht, bildet jener rundliche Klumpen oder Nester am Grunde des Randes, in der Tiefe des Hymeniums oder sogar in den Zellen der Baumrinde und ist darum äusserlich nie sichtbar (s. Taf. I, Fig. 1).

1) Almquist, Monographia Arthoniarum Scandinaviae, p. 21. (Konigl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bandet 17, No. 6.)

Dieser leuchtet im dunkeln Gesichtsfelde des Polarisationsapparates mit rother Farbe, jener nicht. Die violetten Farbstoffklumpen sind von verschiedener Grösse, bis zu etwa 30 μ Durchmesser, meist aber kleiner. Ihre Ausdehnung in der Längsrichtung der linienförmigen Apothecien habe ich nicht gemessen, konnte mich aber an wohlgeordneten Schnittserien überzeugen, dass sie in dieser Richtung von sehr begrenzter Erstreckung, also eben nesterförmig dem Flechtengewebe eingelagert sind.

An welcher Stelle desselben sie sich aber befinden mögen, immer stehen sie in der innigsten Beziehung zu den Rindenzellen des Wirthes, nämlich derart, dass sie im Thallus der Flechte derartige Zellen theilweise oder gänzlich ausfüllen, oder am Grunde des Hymeniums den Rindenzellreihen unmittelbar aufliegen. Wenn sie aber im Hymenium noch weiter nach aussen liegen, dann lassen sich auch hier stets Reste von Rindenzellen in nächster Nähe der Excretmassen nachweisen. Dass letztere die Flechtenhyphen nicht blos durchtränken, sondern oberflächlich bedecken, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man den Farbstoff vorsichtig weglöst, ohne während dieser Zeit das Präparat aus dem Auge zu lassen. Am besten eignet sich hierzu alkoholische Kalilösung. Die Zahl der Hyphen, von welchen das Excret abgesondert worden ist, ist jedoch immer sehr gering, viel geringer, als man nach der Masse des Excretes vermuthen sollte. In einer Rindenzelle zum Beispiel, welche vorher mit dem Farbstoff völlig erfüllt gewesen war, liessen sich nach dem Auflösen desselben nicht mehr als sechs, in einer andern nur drei Hyphenquerschnitte erkennen. Eine dritte endlich enthielt blos eine einzige Hyphe, welche ihrer ganzen Länge nach mit dem Farbstoff bedeckt war (s. Taf. I, Fig. 2a und 2b). In mikrochemischer Hinsicht ist der Farbstoff dadurch ausgezeichnet, dass er in Wasser löslich ist, wenn auch ziemlich schwer. Ganz kleine Körnchen verschwinden aus einem Präparat erst nach mehrmaligem Durchwaschen mit kaltem Wasser. Grössere Anhäufungen auf diese Weise zu entfernen, kostet sehr viel Zeit; will man schneller zum Ziele kommen, so empfiehlt es sich, die Auflösung mittels kochenden Wassers zu bewirken, was ich gewöhnlich in der Weise ausgeführt habe, dass ich den Objectträger

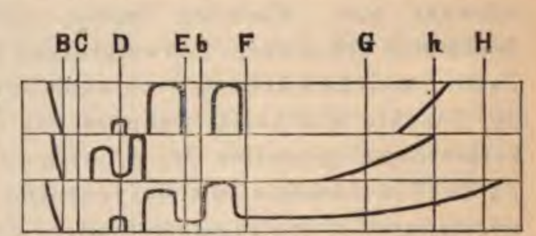
mit dem in reichliches Wasser eingebetteten Präparat über der Weingeistlampe erwärmte bis zum Beginn des Kochens. Auch in Alkohol ist der Farbstoff löslich, und zwar, wie im Wasser, mit weinrother Farbe, während er von Kalilauge mit violetter Farbe sehr leicht aufgelöst wird. Kalk- und Barytwasser lösen ihn nicht auf, sondern färben ihn nur dunkler. Grössere Farbstoffklumpen sehen darin geradezu schwarz aus, kleinere lassen noch einen violetten Schimmer erkennen. Schwefelsäure löst mit indigblauer Farbe, welche Färbung sich auch dem farblosen Gewebe der Flechte mittheilt, wenn es von dem blauen Flüssigkeitsstrome getroffen wird; allmählich aber geht die Farbe des Gewebes in's Malvenrothe über. Auch in Salpetersäure ist das Pigment löslich, aber mit rother Farbe; ein grösserer Pigmentballen war davon in etwa zwei Stunden bis auf den innersten Rest aufgelöst worden; letzterer sah aber zinnoberroth aus; folglich wird der Farbstoff durch diese Säure verändert, nicht blos gelöst. Wegen seiner Löslichkeit in Wasser gelang es auch, ihn in solcher Menge aus der Flechte auszuziehen, dass die Lösung spektroskopisch[1]) untersucht werden konnte. Sie besitzt drei Absorptionsbänder; das erste liegt im Gelb, gerade auf der Linie D, das zweite rechts von E, das dritte links von b. In wässeriger Lösung bestimmt, reicht das erste Band von 601,72 bis 584,55, das zweite von 556,05 bis 528,10, das dritte von 516,08 bis 495,30. In alkoholischer Lösung erscheinen alle drei Bänder um ein Weniges nach rechts verschoben; sie werden durch folgende Wellenlängen begrenzt: I. 599,14–578,44; II. 552,51—526,55; III. 511,28—486,24. Als die alkoholische, schwach sauer gemachte Lösung mit einigen Tropfen Kalilauge übersättigt wurde, nahm sie eine schön blaue Färbung an und zeigte nun blos noch zwei Absorptionsbänder. Das erste liegt links von D und reicht von 635,88 bis 600,98, das zweite liegt rechts von D und reicht von 581,36 bis 559,54. Zur Veranschaulichung dieser drei Spektren möge die umstehende Zeichnung dienen.

---

1) Ich benutzte hierzu ein Sorby-Browning'sches Mikrospektroskop, das aus dem optischen Institut von W. u. H. Seibert in Wetzlar bezogen worden war.

Die wässerige, wie auch die weingeistige Lösung sehen in starker Verdünnung rosen-, bei stärkerer Concentration malvenroth aus, während die feste Masse bei mikroskopischer Betrachtung immer violett erscheint. Dampft man das Lösungsmittel ab, so bleibt sie in Form einer dünnen, durchsichtigen rothen Kruste zurück, die aus vielen kleinen erstarrten Tröpfchen besteht. Der Schmelzpunkt des Farbstoffs liegt unter dem Siedepunkt des Wassers. Alkalien, wie

1. Alkoholische Lösung, schwach sauer;
2. dieselbe mit KHO übersättigt;
3. wässerige Lösung.



Kali- und Natronlauge sowie Ammoniakliquor lösen ihn mit blauer Farbe auf; andere, wie Barytwasser und wahrscheinlich auch Kalkwasser färben ihn blos, ohne ihn aufzulösen. Schwefelsäure löst mit blaurother, Salpetersäure mit gelbrother Farbe auf. Die Reactionen dieses Verdunstungsrückstandes stimmen also mit denen der violetten Farbstoffklümpchen in der Flechte ziemlich gut überein; dass seine Farbe in festem und besonders in gelöstem Zustande nicht violett, sondern malvenroth ist, erklärt sich jedenfalls aus einer geringeren Dichte desselben.

IV. Rothe Farbstoffe.

8. Urceolariaroth.

Unter den fünf verschiedenen rothen Pigmenten, welche ich bei den Flechten aufgefunden habe, ist nur eins ein Excret, die anderen sind in der Membran enthalten. Jenes findet sich im Thallus von Urceolaria ocellata (Vill.) DC. und ist an der röthlichen Färbung des Querbruches oder der Schnittfläche durch die bis 3 mm dicke, mehlige Kruste schon mit blossem Auge zu erkennen. Die blassrothe Substanz ist entweder gleichförmig über das Mark des Lagers vertheilt oder ungleichförmig und bildet in diesem Falle dunklere Streifen oder Flecken auf hellerem, wenn nicht farblosem Grunde. Stellenweise fehlt der weissen Kruste der Farbstoff

gänzlich. Möglicherweise ist sein Auftreten in dem von mir untersuchten Exemplar, welches aus Bosnien stammt und durch die Güte des Herrn Oberlandesgerichtsrathes Dr. Arnold in meine Hände gelangt ist, ein ganz individuelles, wie ich daraus schliesse, dass in den systematischen Flechtenwerken nirgends von einer röthlichen Färbung des Thallus die Rede ist. Er bedeckt die Hyphen des locker-filzartigen Markes in Form kleiner rundlicher Flecken, welche sich nur wenig über die Oberfläche des Zellfadens erheben und wahrscheinlich auch dessen Membran bis zu einer gewissen Tiefe durchtränken. Löst man sie mittels Alkohols weg, so bleiben allein die farblosen, völlig drehrunden Hyphen zurück, ähnlich wie ich es früher bei Lenzites saepiaria Fries gefunden habe.

Mikrochemisch erkennt man den Farbstoff daran, dass er in Alkohol unverändert, von Kalilauge und Barytwasser, sowie von starker Salpeter- und Schwefelsäure mit gelbbrauner Farbe aufgelöst wird. Chlorkalklösung entfärbt; Kalkwasser und Ammoniumcarbonat bringen keine Veränderung hervor.

9. Phialopsisroth.

Unter den rothen Membranfarbstoffen ist der von Phialopsis rubra Kbr. in chemischer Beziehung sehr ausgezeichnet. Er sieht ziegelroth aus und wird von Salpetersäure sehr schön violett gefärbt; doch geht diese Farbe allmählich in ein unscheinbares Grau über, um so schneller, je stärker die Säure angewendet worden ist. Schwefelsäure färbt mehr rothviolett. Bei Einwirkung von Kalilauge, Barytwasser und Ammoniakliquor wird das Epithecium trübe purpurroth, beim Uebersättigen mit Salzäure aber gelbroth, mit Salpetersäure violett.

Die Färbung ist auf das Epithecium beschränkt; die gefärbte Schicht besitzt eine Dicke von 9—13, selten bis 17 μ. Die Paraphysen sind aus vielen kurzen Zellen zusammengesetzt, von denen blos die äusserste den Farbstoff führt. Das sieht man nicht allein an isolirten Paraphysen, sondern schon an Querschnitten des Hymeniums, weil dieses, selbst in dicker Schicht, innerhalb des Epitheciums völlig farblos erscheint. Die Form der Endzelle wechselt

sehr; manchmal ist sie genau cylinderförmig mit nach aussen geschlossener Kuppe, manchmal ist sie in der Mitte bauchartig angeschwollen, öfters auch an den Seiten mit kleinen Höckern und Vorsprüngen besetzt, welche in entsprechende Vertiefungen der Endzellen benachbarter Paraphysen hineinpassen, so dass eine Verbindung hergestellt ist, welche an die Nähte der Schädelknochen erinnert. Nicht blos Zahl, sondern auch Grösse der Höckerchen schwanken sehr; öfters sind sie auf einer Seite der Paraphyse viel stärker entwickelt als auf der andern. Die die Endzelle abschliessende Kuppe ist keineswegs immer, wenn auch meistens gefärbt. In serienweise angeordneten Tangentialschnitten aus verschiedenen Tiefen des Apotheciums ist der schichtenweise Aufbau der Paraphysenmembranen leicht zu erkennen: In geringer Tiefe unter dem Epithecium sind die Membranen zweischichtig; eine dicke, farblose und quellbare Mittellamelle umgiebt eine dünne, farblose, nicht quellbare Innenschicht. Etwas weiter aussen sind die Zellhäute dreischichtig: die Mittellamelle ist dünner als vorher und umgiebt zwei dünne farblose Wandschichten, welche im Tangentialschnitt des Apotheciums in Form von zwei concentrischen Ringen erscheinen. Endlich im Epithecium selbst nimmt die Mittellamelle immer mehr ab, bis zum völligen Verschwinden am Aussenende der Paraphysen; die innerste Lamelle hat sich nicht verändert, die zweite dagegen ist um eben soviel dicker geworden, als die Mittellamelle an Dicke verloren hat. Nur diese zweite Lamelle der Paraphysenmembranen ist der Träger des Farbstoffes, und sie ist auch diejenige Schicht, welche die kleinen Höcker bildet. Deshalb erscheint sie auch im Querschnitt nicht immer kreisrund, sondern zackig oder an einer Seite stärker entwickelt als an der anderen. Zu erwähnen wäre schliesslich noch, dass nicht alle Paraphysen gefärbt sind; es wechseln vielmehr Bündel von gefärbten mit solchen farbloser Paraphysen ab; diese treten aber jenen gegenüber an Menge zurück. In den farblosen Paraphysen reicht die quellbare Mittellamelle bis ganz nach aussen.

10. Das Lecanoraroth.

Mit diesem besonderen Namen will ich den rothen Farbstoff bezeichnen, der nicht nur im Epithecium, sondern im ganzen

Hymenium von Lecanora atra (Huds.) Ach. enthalten, aber nicht blos auf die eine Art beschränkt ist, sondern ausserdem noch im Apothecium von Rhizocarpon geographicum (L.) DC., Rh. viridiatrum (Flk.) Rbh., Lecidea lithyrga Fr. (= L. emergens Fw.) vorkommt. Lecanora atra eignet sich zur Untersuchung besser als die anderen genannten Flechten, weil sie den Farbstoff in allen Nuancen vom dunkelsten Schwarz bis zum Blassweinrothen aufweist. Im Epithecium nämlich ist er den Membranen so dicht eingelagert, dass nur an äusserst dünnen Schnitten ein farbiger, in's Purpurrothe gehender Schimmer erkennbar ist. Von hier nach dem Grunde des Hymeniums wird die Färbung immer blasser, nirgends aber sieht er, wie in manchen lichenologischen Werken angegeben ist, violett aus. Dagegen wird er — und das ist seine charakteristischste Reaction — von Kalilauge tief violett gefärbt, ebenso, jedoch weniger deutlich, von Ammoniakliquor, Barytwasser, also wohl von allen starken Basen. Starke Salpetersäure färbt im Allgemeinen heller: das Epithecium wird weinroth, wie das Hymenium vorher war, dieses wird gelb. Schwefelsäure, in verdünntem Zustande angewendet, verändert die Farbe nicht; übersättigt man nun mit Kalilauge, so tritt Violettfärbung auf, wogegen diese ausbleibt, wenn vorher Salpetersäure auf den Farbstoff eingewirkt hatte. Daraus schliesse ich, dass derselbe von letzterer Säure in tief eingreifender Weise verändert wird. Salzsäure ist ohne sichtbare Einwirkung auf ihn. Bei den beiden Rhizocarponarten ist nur das Epithecium, bei Lecidea lithyrga blos der sehr mächtige Schlauchboden roth gefärbt. In letzterem sind die Membranen der Hyphen zweischichtig; die innerste Lamelle ist farblos, die Mittellamelle gefärbt. Die Paraphysen von Rhizocarpon, s. Taf. I, T. IV, haben dreischichtige Wände; die innerste Lamelle ist farblos, die zweite schwach gefärbt; die Mittellamelle ist am dunkelsten; nach aussen nimmt sie zu Gunsten der zweiten Wandschicht an Mächtigkeit ab; unterhalb des Epitheciums sind alle drei Wandschichten farblos, selbst die dicke, quellbare Mittellamelle. Noch complicirter ist der Bau im Apothecium von Lecanora atra, s. Taf. I, T. V; denn im Epithecium besteht die Membran der Paraphysen aus folgenden vier Schichten: einer innersten dünnen, farblosen, nicht quellungsfähigen, zwei blassroth gefärbten,

erscheinen unter dem Mikroskop violett. Im dunkeln Gesichtsfelde des Polarisationsapparates leuchten einzelne Krystalle mit intensiv gelbrother Farbe. Wasser vermag diese Krystalle nicht aufzulösen; in Kalilauge färben sie sich sehr schön grün und leuchten auch im Polarisationsapparat mit grüner Farbe. Welche Verbindung des rothen Farbstoffes man in diesen Krystallen vor sich hat, lässt sich blos durch makrochemische Analyse feststellen. Ein blosses Sulfat desselben scheinen sie aber nicht zu sein; denn wenn man von vornherein Schwefelsäure zu einem Präparate bringt, wird der rothe Farbstoff weder aufgelöst, noch auch in eine krystallisirte Verbindung übergeführt.

Die Zellen des Peritheciums enthalten das Pigment in grösserer Menge als die Thallushyphen; in die Membranen der letzteren ist es gleichmässig, in die der ersteren aber häufig so ungleichmässig eingelagert, dass sie gefleckt aussehen und fast den Eindruck hervorrufen, als wären die Wände an vielen Punkten mit kleinen Körnchen des Farbstoffs bedeckt. Dem ist jedoch nicht so; der Farbstoff ist nicht ein äusserlich aufsitzendes Excret, sondern er ist den Membranen eingelagert. Doppelte Schichtung der Zellwände war weder an den Hyphen des Apotheciums, noch an denen der Thallusrinde mit Sicherheit zu erkennen.

V. Braune Farbstoffe.

Keine Farbe ist im Kreise der Flechten so verbreitet, wie das Braun. Es kann in allen Theilen des Apotheciums auftreten, im Epithecium, im Schlauchboden, in den Sporen, sogar im ganzen Hymenium. Im Lager wird es selten vom Mark, häufig von den beiden oder auch nur von einer Rinde geführt. Es kommt in allen Tönen und in verschiedenen Mischungen vor. Zu dieser äusserlichen Verschiedenheit und weiten Verbreitung steht die geringe chemische Mannigfaltigkeit in einem auffallenden Widerspruch. Ich habe nicht mehr als fünf differente braune Farbstoffe auffinden können, welche ich aus rein praktischen Gründen in zwei Gruppen eintheilen möchte. In die erste rechne ich alle diejenigen, welche durch irgend ein Reagenz in auffälliger Weise verändert werden, zur zweiten die, bei welchen dies nicht der Fall ist.

12. Verrucariaroth.

Verrucaria Hoffmanni Hepp. f. purpurascens Hoffm., in den lichenologischen Werken auch unter dem Namen Amphoridium marmoreum (Scop.) f. Hoffmanni Kbr. angeführt, gehört gleich Urceolaria ocellata und Phialopsis rubra zu denjenigen, welche bei makroskopischer Betrachtung nicht anders aussehen, als bei mikroskopischer. Nur in den Apothecien ist der Farbstoff etwas reichlicher eingelagert, so dass sie wie dunkle Punkte auf dem rosenrothen Thallus erscheinen, welche selbst bei Loupenvergrösserung braunroth aussehen und erst unter dem Mikroskop erkennen lassen, dass sie dasselbe Pigment enthalten, wie das Lager. Dieser Farbstoff verdient, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, die besondere Aufmerksamkeit der Chemiker, weil er sich leicht in eine krystallisirte Verbindung überführen lässt. Seine Reindarstellung und eine Elementaranalyse desselben hängen darum nur von der Beschaffung der nöthigen Menge von Untersuchungsmaterial ab.

Zur mikrochemischen Analyse sind die Apothecien wegen ihrer intensiveren Färbung besser geeignet als der Thallus. Zu diesem Zwecke genügt es, ein solches mit der Präparirnadel aus der Flechte herauszuheben und so, wie es ist, mit Wasser auf den Objectträger zu bringen. Höchstens empfiehlt es sich noch, das Präparat ein wenig zu zerreiben; Querschnitte sind nicht nothwendig und schwer herzustellen. Von Kalilauge und Barytwasser wird das rothe Gewebe der Flechte sehr schön dunkelgrün gefärbt. Diese Reaction ist auch makrochemisch wahrnehmbar, wenn man einen Tropfen Kalilauge auf den rothen Flechtenthallus bringt. Von Salpetersäure wird die ursprüngliche Färbung zurückgeführt. Spült man nun die überschüssige Säure aus dem Präparate weg und lässt darauf Schwefelsäure hinzufliessen, so wird das vorher rothe Gewebe farblos und es scheiden sich violette Krystalle von nadel- oder tafelförmiger Gestalt in grosser Menge aus. Die Nadeln lassen sich krystallographisch nicht bestimmen, die Tafeln sind niedrige rhombische Säulen, combinirt mit dem basischen Pinakoid. Ein einzelner Krystall, für sich betrachtet, lässt das Licht mit dunkel madeiraähnlicher Farbe durchgehen, aber viele Krystalle vereint

sieht er bräunlichgelb aus und wird von Kalilauge[1]) intensiv olivengrün gefärbt, so dass sich nun die Rinde des Thallus von dessen Gonidien in der Färbung nicht mehr unterscheidet. Am deutlichsten aber ist diese Reaction an der hohlkugeligen Umhüllung des Peritheciums zu erkennen, welche den Farbstoff in noch weit grösserer Menge führt, als die Rinde des Lagers, weshalb hier der Gegensatz zwischen der ursprünglichen und der durch Kalilauge veränderten Färbung viel deutlicher in die Augen fällt. Von Schwefelsäure wird die gelbbraune Färbung zurückgeführt. Wäscht man nun die überschüssige Säure aus und lässt verdünnte Salpetersäure zufliessen, so nimmt das Gewebe einen fast schwarzen Ton an, was bei dem Braun der Physciaspecies auch nicht der Fall ist.

In der Thallusrinde ist die Mittellamelle der Zellwände gefärbt, die Innenschicht farblos. In den dunkelsten, dicksten Stellen der Umhüllung des Peritheciums dagegen sind die Zellwände dreischichtig; die farblose Innenschicht wird zunächst von einer hellbraunen, im Querschnitt ringförmig erscheinenden, diese endlich von der noch dunkleren Mittellamelle umgeben.

15. Segestriabraun.

Mit keiner Flechte giebt concentrirte Schwefelsäure eine so schöne — überdies auch makroskopisch sichtbare — Reaction, wie mit Segestria lectissima Zw. Wenn man nämlich ein Stückchen von der sehr dünnen, grünbräunlichen Kruste mit dem Scalpell abhebt und direct in concentrirte Schwefelsäure bringt, färbt sich das ganze Präparat sogleich prachtvoll violett, später weinroth, zuletzt, d. h. nach mehrstündigem Liegen in der Säure, dunkelbraun. Das Gewebe wird dabei soweit aufgehellt, dass man deutlich die Zellwände als die gefärbten Gewebetheile zu erkennen vermag. An Querschnitten durch den Thallus, die allerdings wegen dessen Dünne schwierig herzustellen sind, tritt

1) Nicht von Schwefelsäure, wie durch ein Versehen in meiner vorläufigen Mittheilung „Mikrochemische Reactionen auf Flechtenstoffe", Flora, 1887, No. 19, Seite 4 des Separat-Abdruckes, angegeben ist.

die Violettfärbung selbstverständlich auch ein, bleibt aber nicht auf die Rinde beschränkt, sondern wird in grösserer Reinheit auch an den vorher farblosen Hyphen des Markes bemerkt. Dieselbe Beobachtung kann man auch an dem farblosen Theile des hohlkugeligen Gehäuses der Perithecien machen. Daraus folgt meines Erachtens, dass es nicht der in den Rindenzellen enthaltene bräunliche Farbstoff ist, welcher von der Schwefelsäure violett gefärbt wird, sondern ein anderer farbloser die gefärbten, wie die ungefärbten Zellwände durchtränkender Stoff, möglicherweise ein Alkaloid. Dem sei aber wie ihm wolle, jedenfalls ist die Schwefelsäurereaction auf genannte Flechte in mehrfacher Hinsicht sehr bemerkenswerth, in chemischer, weil sie auf das Vorhandensein einer neuen, wohl charakterisirten Substanz hinweist, in lichenologischer, weil sie ein einfaches Mittel in die Hand giebt, die Art unter Berücksichtigung ihrer anderen Merkmale schnell und sicher zu bestimmen.

Ausserdem enthält Segestria lectissima aber noch einen gelb- bis rothbraunen Farbstoff, welcher von Kalilauge schön morgenroth, von verdünnten Säuren nur heller gelb gefärbt wird. Dies Pigment befindet sich in dem dichten, dickwandigen Gewebe, welches zwischen der Rinde und dem kugelförmigen Fruchtgehäuse gewissermaassen die Bedachung desselben bildet und von der engen Mündung des Peritheciums durchbohrt wird. Es ist aussen am dunkelsten; nach innen nimmt die Färbung an Intensität rasch ab und ist in unmittelbarer Nähe des Hymeniums blassgelblich. In concentrirter Schwefelsäure färbt sich dieses Gewebe auch violett, aber weniger rein als das Mark oder andere farblose Gewebetheile, was nur in der Beimischung des gelbbräunlichen Farbstoffes seinen Grund haben kann. Dass die erwähnte Reaction mit Kalilauge aber wirklich diesem letzteren und nicht etwa dem vermuthlichen Alkaloide zukommt, folgt daraus, dass das farblose Gewebe der Flechte von Kalilauge nicht im Geringsten verändert wird.

16. Glomelliferabraun.

In der Färbung unterscheidet sich Parmelia glomellifera Nyl., welche gewöhnlich nur als eine Varietät von Parmelia olivacea (L.) Ach. angesehen wird, von den ihr nahestehenden Arten und Abarten nicht. Die Unterseite des Thallus sieht, wie bei den meisten Parmeliaceen,

dunkelbraun, die Oberseite, wie bei manchen Parmeliaceen, lederbraun aus. Trotzdem ist das diese Färbung bedingende Pigment, wie ich schon an anderem Orte hervorgehoben habe[1]), ein ganz anderes, als in allen übrigen Parmeliaceen. Denn es wird von Salpetersäure erst schön blau, dann violett, endlich grau gefärbt. Weniger gut ist die Reaction mit Chlorkalklösung, welche erst blaugrün, endlich unscheinbar grau färbt. Andere Substanzen, wie verdünnte Salzsäure, Schwefelsäure und Kalilauge bringen keine sichtbare Veränderung an ihm hervor. Diese Reactionen lassen sich nicht allein an Querschnitten durch das Lager mit Hilfe des Mikroskopes beobachten, sondern sind auch makroskopisch erkennbar. Wenn man nämlich einen Tropfen Salpetersäure auf ein möglichst helles, also junges Thallusläppchen bringt, wird dieses an der befeuchteten Stelle sofort blau, bald aber grau; die violette Uebergangsfarbe ist hier nicht zu sehen. Ebenso sicher kommt man zum Ziele, wenn man ein, gleichviel ob altes oder junges, Thallusstück in einem Reagirgläschen mit concentrirter Salpetersäure übergiesst, welche sich dann augenblicklich blaugrün, später rein dunkelgrün färbt. Allerdings verliert die Säure, von der man am besten soviel zugiesst, dass die Flechtenstückchen ganz davon bedeckt sind, ihre grüne Färbung bei gewöhnlicher Temperatur nach mehrstündigem Stehen, und sogar augenblicklich, wenn sie gekocht oder mit Wasser mindestens auf das Dreifache ihres ursprünglichen Volumens verdünnt wird.

Nur die oberseitige Rinde des Thallus enthält diesen Farbstoff, die unterseitige dagegen dasjenige Braun, welches in den anderen Parmeliaceen so verbreitet ist. Auch im anatomischen Bau und in der Vertheilung des Farbstoffes unterscheidet sich jene von dieser. Denn die Zellen der oberseitigen Rinde sind weiter, ihre Wände dünner; das Rindengewebe ist fast pseudoparenchymatisch und weist drei bis vier Zellschichten auf. Die Zellen sind in radiäre Reihen von grosser Regelmässigkeit angeordnet. Die Aussenwand der äussersten Zellreihe ist auffallend dick, nämlich etwa 4 μ bei 16 μ Gesammt-

---

1) Bachmann, Mikrochemische Reactionen auf Flechtenstoffe. (Flora 1887, No. 19, Seite 3 des Separat-Abdruckes.)

die braune Färbung zum Vorschein zu bringen; im ersteren Falle ist er gewöhnlich so spärlich, wenn überhaupt, eingelagert, dass nicht allein Beseitigung der Flechtensäure durch ein Lösungsmittel, sondern auch mikroskopische Untersuchung des Flechtentheiles unerlässlich ist. Es giebt aber noch einen dritten derartigen Fall, wo das Mikroskop ebenso wenig entbehrt werden kann. Der tritt bei den olivengrünen und grünbraunen Parmelia-Arten ein, welche scheinbar ein anderes Pigment enthalten, als die anderen, rein braun gefärbten Arten. Zwar sieht häufig nur ihr Rand grünlich aus, die älteren Thalluslappen dagegen sind braun, wie bei P. aspidota Ach., P. verruculifera Nyl., P. prolixa Ach., oder es sind, wie bei P. stygia (L.) Ach., sogar nur die äussersten Spitzen der jungen Thalluslappen olivenbräunlich, die übrigen Theile des Thallus aber braun bis braunschwarz gefärbt. Das könnte zu der Vermuthung führen, dass der grüne Farbstoff mit dem Alter eine Veränderung in Braun erfahre, wie es vom Lecidea-, Aspicilia- und Rhizoidengrün bekannt ist, ja, dass vielleicht das letztere Grün es sei, welches die wechselnde Färbung der genannten Parmeliaspecies bedinge. Dem ist jedoch nicht so, vielmehr ist ihr Olivengrün bis -braun eine Mischfarbe von dem Braun der oberseitigen Rinde und dem Grün der Gonidienschicht, welches durch jene hindurch schimmert, weil sie dünn und arm an dem braunen Farbstoff ist. — Die unterseitige Rinde zeigt bei denselben Arten nie den olivenbraunen oder gar olivengrünen Ton, einfach aus dem Grunde, weil die Gonidienschicht von der Rinde durch die dicke, farblose, luftführende Markschicht getrennt ist und darum nicht durchscheinen kann. — Dass ferner der grüne Ton an jungen Thalluslappen oder ihren Spitzen stärker hervortritt als an älteren, rührt daher, dass dort die Rinde nicht nur dünner ist, sondern auch weniger Braun enthält als hier. — Auf ähnliche Weise erklärt es sich, dass unter den genannten Flechten P. fuliginosa durch besonders viel Grün in seiner Mischfarbe ausgezeichnet ist. Bei ihr ist nämlich die oberseitige Rinde blos einschichtig und führt das Parmeliabraun ausschliesslich in der den Rindenzellen gemeinschaftlichen Aussenwand, muss also in höherem Grade durchsichtig sein, als mehrschichtige Rinden, welche durch und durch gefärbt sind. — Vor Allem aber lehrt der blosse Augenschein, dass das Pigment der oberseitigen Rinde gleich

dem der unterseitigen rein braun und nirgends olivengrün aussieht, wenn man den grünen Hintergrund entfernt, was am einfachsten zu erreichen ist, indem man Querschnitte durch den Thallus unter dem Mikroskope betrachtet. Entstände das Braun aus einem grünen Farbstoff, so müsste man doch wenigstens an Querschnitten durch die äussersten Ränder junger Thallusläppchen Grün sehen, wie ja auch die jungen Sporen von P. pulverulenta, stellaris u. a. unverkennbar grün aussehen. — Endlich aber geht aus der Gleichheit der chemischen Reactionen die Identität des braunen Farbstoffes der oberseitigen Rinde olivenbrauner Parmelien mit dem reinen Braun ihrer unterseitigen Rinde, überhaupt mit dem reinen Parmeliabraun hervor.

Chemisch ist dasselbe durch folgendes Verhalten ausgezeichnet: Von verdünnter Salpetersäure wird es nach einiger Zeit heller gefärbt, ähnlich dem Brauneisenocker, und zwar heller oder dunkler je nach der Intensität der ursprünglichen Färbung. Concentrirte Säure bewirkt diese Farbenänderung augenblicklich und unter theilweiser Auflösung des Pigments. Diese charakteristischste Reaction auf das Parmeliabraun tritt um so rascher ein, je jünger und zarter die gefärbte Membran ist, z. B. am Rande schneller als in der Mitte des Thallus, an der oberseitigen Rinde eher als an der unterseitigen desselben Präparates, überhaupt um so früher, je heller die Rinde gefärbt ist. Doch besteht in dieser Beziehung auch noch ein Gegensatz zwischen den einzelnen Species. So wird beispielsweise der braune Farbstoff durch kalte, concentrirte Salpetersäure aus dem geradezu schwarzen Thallus von P. prolixa vollständig weggelöst, so dass nur der nun blass gewordene Flechtenthallus in etwas gequollenem Zustande zurückbleibt, während bei anderen Arten mit dunkler Rinde die Salpetersäure erst bis zum Kochen erwärmt werden muss, soll ihr Pigment in Lösung gehen. Doch werden in diesem Falle die den Farbstoff führenden Membranen mit aufgelöst. Daraus geht hervor, dass er von letzteren mit verschiedener Kraft festgehalten wird und dass seine Widerstandsfähigkeit gegen Salpetersäure in engster Beziehung zu der Resistenzfähigkeit der Membran steht, welche ihn enthält. — Das Erwärmen in der Salpetersäure kann man gleich auf dem Objectträger vornehmen, indem man zu

den unter einem möglichst grossen Deckglas befindlichen Schnitten die concentrirte Säure fliessen lässt und hierauf den Objectträger in angemessener Entfernung über einer kleinen Alkoholflamme so lange hin und her bewegt, bis sich der Beginn des Kochens durch Bildung der ersten Bläschen in der Flüssigkeit zu erkennen giebt. Je nach der Beschaffenheit des Präparats kann man auch schon vor Beginn des Kochens mit Erwärmen aufhören, oder aber nach kleinen Pausen, beziehungsweise nach Zusatz von mehr Säure, wiederholt bis zum Beginn des Kochens erwärmen. Wie sich die Präparate dabei verhalten, soll an einigen Beispielen erläutert werden. Die unterseitige Rinde von Parmelia revoluta Flk. sieht ganz schwarz aus und blos ein schmaler Saum am Rande der Thalluslappen ist braun. Sie ist zwei-, nur stellenweise dreischichtig; die Zellwände sind ungemein dick und bestehen aus einer inneren farblosen oder schwach gefärbten und einer äusseren braunen Lamelle. Das Lumen ist punktförmig eng, und die nach aussen gewendete Membranschicht besonders dick. Diese anatomischen Verhältnisse lassen sich aber nur an blasseren, jungen Rindenpräparaten erkennen; die älteren sind so reichlich mit dem Parmeliabraun imprägnirt, dass sie unter dem Mikroskop fast gleichmässig schwarz aussehen. Einmaliges, kurzes Aufkochen eines solchen Präparates in concentrirter Salpetersäure bewirkt die vollständige Auflösung des Markes, der Gonidienschicht und der oberseitigen Rinde, lässt aber die unterseitige unversehrt und färbt sie blos rothbraun. Infolge dessen kann man aber jetzt an ihr die zellige Structur ganz deutlich erkennen, sowohl an Quer- als auch an Tangentialschnitten: die Zellen bestehen aus einer dunkeln Mittellamelle und einer, manchmal wohl auch aus zwei helleren Innenschichten. An Präparaten von jüngeren Rindentheilen aber löst die heisse Säure die Innenlamelle vollständig auf, so dass nur die braunen Mittellamellen übrig bleiben. Erst durch fortgesetztes Erhitzen werden auch diese, und noch später ältere schwarze Rindentheile aufgelöst. Die unterseitige Rinde von P. revoluta zeichnet sich demnach durch besondere Widerstandsfähigkeit aus, was bei ihrer verhältnissmässigen Dünne von 9 – 13 μ erklärlich ist. Das Kochen der Flechte in der Salpetersäure kann auch im Reagirgläschen vorgenommen werden. Wenn man einen Thalluslappen von etwa 2 qcm in 1 ccm conc. Säure kocht, so ist nach

mehreren Minuten alles aufgelöst und das Lösungsmittel rothbraun gefärbt. Die Auflösung kann beschleunigt werden, wenn man der Säure einige Körnchen chlorsauren Kalis zusetzt. Bei Zusatz von Wasser zu der dunkel rothbraunen, klaren, salpetersauren Lösung tritt zunächst Trübung, später Ausfällung einer flockigen Masse auf, welche blass gelbbräunlich aussieht und vielleicht die mitaufgelösten Kohlehydrate enthält. Die hell gewordene Lösung kann im Wasserbad bis auf einen dunkel rothbraunen, syrupartigen Rückstand verdunstet werden, welcher noch stark sauer reagirt und den Farbstoff jedenfalls in sehr verunreinigtem Zustande enthält. Dennoch glaube ich, dass er aus dieser Masse in reinem Zustande gewonnen werden kann, wenn man von einer genügenden Menge des Rohmaterials ausgeht. Flechten von dunkler Färbung auf beiden Seiten und ohne oder mit nur wenig Flechtensäure dürften sich hierzu besonders eignen, wie Parm. prolixa, Cornicularia tristis, gewisse Gyrophora-species. — Zu den auf beiden Seiten blass gefärbten Flechten gehört Gyrophora crustulosa Ach.; sie kann demnach als Beispiel des Verhaltens farbstoffärmerer Flechtenlager gelten. Das lockere, dünnwandige Hyphengewebe der oberseitigen Rinde ist nur in der äusseren Hälfte, das dichtere der unterseitigen durch und durch, aber nicht gleichmässig braun gefärbt. Manche Zellfäden oder Hyphenspitzen sehen besonders dunkel aus. Diese werden von concentrirter Salpetersäure in charakteristischer Weise lohroth gefärbt, die blassen Rindentheile aber völlig aufgelöst. Beim Erhitzen bis zum einmaligen Aufkochen lösen sich aber auch jene in der Säure auf. Gegen concentrirte Schwefelsäure verhalten sich überdies die Rindenpräparate ebenso, wie gegen kalte Salpetersäure. Die Widerstandsfähigkeit hellerer Flechten gegen die verfärbende und auflösende Kraft der Säuren, insbesondere der Salpetersäure, ist demnach geringer als die dunkelbrauner oder schwarzer. Andererseits zeigt Gyrophora Mühlenbergii Ach. (Fundort Nord-Amerika), dass diese Widerstandsfähigkeit nicht allein von dem Grad der Dunkelheit abhängt; denn die unterseitige Rinde dieser Flechte ist trotz ihrer schwarzen Färbung weit weniger resistent, als die von Parm. revoluta. Bringt man nämlich ein Präparat direct in conc. Salpetersäure, so löst sich mit Ausnahme der die Markhyphen bedeckenden Lecanorsäure und der dunkelsten Stellen der unterseitigen Rinde alles auf,

bringt man es aber erst in Wasser und lässt nun, wie üblich, die conc. Säure vom Rande des Deckgläschens her zufliessen, so findet nur Rothfärbung, nicht aber Auflösung statt; diese erfolgt jedoch sogleich, wenn die verdünnte Säure erwärmt wird. Ebenso verhält sich G. microphylla Laurer, G. polyphylla (L.) Fw. u. a.

Von der unterseitigen Rinde der bekannten Nabelflechte Umbilicaria pustulata (L.) Hoffm. löst sich schon vor dem Beginn des Kochens alles auf, ausgenommen die dunkelsten Stellen, welche nun hell rostroth aussehen und noch deutlich die rundliche Zellenstructur erkennen lassen.

Von fast gleichem Werthe wie die Salpetersäurereaction ist die mit Kalilauge[1]). In concentrirtem und verdünntem Zustande angewendet, bewirkt sie stets Dunklerwerden der braunen Rindentheile. Aber auch die Nuance der Farbe wird verändert: sie geht nämlich aus dem Reinbraunen in's Olivenbraune bis -grüne über; oft freilich tritt das Grün so zurück, dass man nur von einem Schmutzigbraun reden kann. Schwach gefärbte Stellen, wie das Epithecium von Parm. aspidota u. a. Parmeliaceen, sehen nach der Einwirkung der Kalilauge nur schmutziggelb aus, werden auch nicht dunkler, sondern eher etwas heller. Das hat seinen Grund in der starken Quellung des zarten Hymenialgewebes, wodurch die gefärbten Punkte soweit aus einander gerückt werden, dass das Auge von dem gleichen Raume nicht mehr soviel Eindrücke des Braun erhält wie vorher. Auf dieselbe Weise erklärt es sich, dass die gleichfalls durch hohe Quellbarkeit ausgezeichnete Thallusrinde von Gyrophora hyperborea Mudd., anthracina Kbr., polyphylla Fw. u. a. in Kalilauge etwas blasser wird. Mit der Quellung geht bei den genannten Flechten überdies noch eine theilweise oder gänzliche Auflösung des Pigments Hand in Hand, während die alte, höchst resistente und schwarze unterseitige Rinde von Parm. saxatilis, conspersa u. a. Parmeliaceen nur wenig aufquillt und gar keinen Farbstoff abgiebt. An ihnen ist aber die Kalireaction auch unsicher, wenn zu dicke Schnitte untersucht werden, weil die ursprüngliche Färbung zu dunkel ist, als dass

---

1) Vergl. Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, I. Aufl., p. 508, wo die Farbenveränderung durch Alkalien in Abrede gestellt ist.

die durch das Reagenz bewirkte Nachdunkelung dagegen gehörig contrastiren könnte.

Von geringerer Bedeutung als die beiden bisher besprochenen Reagentien ist die Schwefelsäure; denn in verdünntem Zustande ist sie ohne alle Wirkung und in concentrirtem verändert sie nicht nur das Parmeliabraun, sondern auch die Membranen, und zwar in sehr tiefgreifender Weise. In Säure vom spec. Gew. 1,84 lösen sich die Präparate meistens nach kurzer Zeit gänzlich auf, und zwar mit einer Veränderung des Pigments aus Gelbbraun in Braunroth. Lässt man dagegen Säure von dem angegebenen Concentrationsgrade zu einem in Wasser liegenden Präparate fliessen, so werden nur schwach gefärbte, also weniger resistente Flechtentheile völlig, resistentere aber blos an ganz dünnen Rändern aufgelöst. Die Rinden der Gyrophoraspecies widerstehen auch der Schwefelsäure nicht so gut wie die der Physcia- und Parmelia-Arten.

Salzsäure ist ohne sichtliche Einwirkung auf das Parmeliabraun; Chlorkalklösung färbt erst braungelb, dann gelb; endlich tritt Entfärbung ein.

Sicher nachweisen konnte ich den braunen Farbstoff im Apothecium von Physcia ciliaris DC., stellaris (L.) Nyl., aipolia Ach., Parmelia conspersa (Ehrh.) Ach., tiliacea (Hoffm.) Fr., Nephoroma lusitanica Schaer., Maronea Kemmleri Kbr., Sagedia declivum Baglietto (die innere Hülle des Peritheciums), Lithographa cyclocarpa Anzi, Thalloidima mammillare Gouan., Rinodina mniaria Fr. Während ihn die vorgenannten Flechten an der Oberfläche der Fruchtscheibe führen, findet er sich bei folgenden im Hypothecium: Rhizocarpon petraeum Kbr., Lecanora atra Ach., Biatora atrofusca Th. Fr., ochracea Hepp., Thalloidima mammillare Gouan., Toninia congesta Hepp., Lecidea macrocarpa (DC.) Th. Fr., vorticosa (Flk.) Kbr., incongrua Nyl. Im Thallus fand ich das Parmeliabraun bei Physcia obscura Ehrh., Parmelia perlata (L.) Ach., revoluta Flk., saxatilis (L.) Fr., olivacea (L.) Ach. α) glomellifera Nyl., β) fuliginosa Fr., γ) verruculifera Nyl., aspidota Ach., prolixa Ach., stygia (L.) Ach., caperata (L.) Ach., conspersa (Ehrh.) Ach., Gyrophora cylindrica (L.) Ach., vellea (L.) Ach., spodochroa Ach., crustulata Ach., anthracina Kbr., microphylla Laurer, polyphylla (L.) Fw., hirsuta (Ach.) Fr., hyperborea (Hoffm.) Mudd., murina DC., Mühlenbergii Ach., Umbilicaria pustulata (L.)

Hoffm., Nephoroma lusitanica Schaer., Cornicularia tristis (Web.) Ach. Manchmal ist blos die unterseitige Rinde gefärbt, wie bei Parm. conspersa, saxatilis und caperata, wo die oberseitige Rinde einen krystallisirten Flechtenfarbstoff in reichlicher Menge enthält. Meistens sind beide Rinden braun gefärbt, aber die unterseitige stets dunkler als die oberseitige. Krystallisirte Flechtensäuren fehlen in den gefärbten Rindentheilen. Bei einigen Flechten ist die Rinde durch und durch gefärbt (Parm. conspersa, caperata, saxatilis, perlata, revoluta, aspidota, olivacea f. verruculifera und glomellifera [us. Rinde]).

Nur oberflächlich gefärbt ist die mehrschichtige Rinde von Parm. prolixa, stygia, glomellifera (us. Rnd.), Physcia ciliaris (us. Rnd.), Cornicularia tristis und allen oben angeführten Gyrophora-species, bei vielen der letzteren besonders auffällig in der unterseitigen Rinde, weil diese öfters $^1/_4$ bis $^1/_2$ oder sogar einen noch grösseren Theil der Thallusdicke einnimmt[1]), die Färbung aber trotzdem auf die zwei bis vier oberflächlichsten Zellschichten beschränkt bleibt. Aehnlich verhält es sich mit Cornicularia tristis, s. Taf. I, Fig. 5, deren Rinde gewöhnlich eine Dicke von 70—80 μ, manchmal aber auch von 120—170 μ hat, während der gefärbte Theil nur etwa 25—30 μ dick ist. Es sind nicht mehr als zwei Zellschichten, deren Wände das Pigment enthalten. Ausserhalb der braunen Schicht befindet sich noch eine etwa 13 μ dicke, farblose, durchsichtige Lage ohne Lumina, vom Aussehen der Cuticula lederähnlicher Blätter, welche wahrscheinlich blos der verwitterte Rückstand vorjähriger Rindenschichten ist. Auch in der oberseitigen Rinde von Parm. prolixa mit nur einer gefärbten Zellschicht ist das Verhältniss zwischen dem braunen und farblosen Theil ein ähnliches, wogegen in der unterseitigen Rinde die beiden äusseren Lagen braune Wände haben und zusammen ungefähr $^1/_4$ bis $^1/_3$ der ganzen Rindendicke ausmachen.

Die gefärbten Zellmembranen sind stets aus mehreren Lamellen zusammengesetzt, auf welche der Farbstoff in verschiedener Weise vertheilt ist. Es lassen sich in dieser Beziehung folgende Fälle unterscheiden:

1. Die benachbarten Zellen besitzen eine deutliche gemeinsame Mittellamelle.

1) Vergl. Schwendener, Untersuchungen über den Flechtenthallus.

A) Die Zellwände sind zweischichtig; sie bestehen nämlich aus einer starken Mittel- und einer dünneren Innenlamelle; jene ist stets gefärbt, diese farblos oder gefärbt, im letzteren Falle aber nie so dunkel als die Mittellamelle. Ob die Innenlamelle farblos oder braun ist, hängt nicht allein von der Species, sondern auch vom Alter des Flechtentheiles ab. Denn in Präparaten von dem Rande des Thallus findet man oft die Innenlamelle der Zellwände noch farblos, während sie in Rindentheilchen aus der älteren Thallusmitte braun gefärbt sind: Parm. caperata, perlata, pulverulenta (u. R.), aspidota, olivacea f. glomellifera (u. R.), Gyrophora microphylla.

B) Die Zellwände sind dreischichtig; sie bestehen nämlich aus einer farblosen Innenlamelle, einer blassen Mittellamelle und einer zwischen diesen beiden befindlichen, durch grösste Dunkelheit ausgezeichneten „zweiten" Lamelle, die in der Regel nicht so dick ist wie die Mittellamelle: Parmelia prolixa (aber stellenweise fehlt die Mittellamelle), Cornicularia tristis, Gyrophora anthracina (die Mittellamelle erscheint in der unterseitigen Rinde fast farblos).

2. Die benachbarten Zellen besitzen keine deutliche gemeinsame Mittellamelle. Die Wände sind zweischichtig: die Innenlamelle ist farblos oder (im Alter) blassbraun, die äussere ist dunkelbraun: Parmelia conspersa, revoluta, Gyrophora anthracina (u. Rd.).

In den mit Parmeliabraun gefärbten Hypothecien habe ich blos zwei Weisen der Farbstoffvertheilung gefunden: Bei den meisten ist eine gleichförmige, durch grösste Dunkelheit ausgezeichnete Mittellamelle vorhanden, welche in der Regel Gruppen von zwei bis sechs, selten einzelne Zellen umspannt. Innerhalb dieser Lamelle befinden sich noch zwei dickere, quellbare Hautschichten, von denen die innerste meistens ganz farblos, die äussere aber blassbraun gefärbt ist (Lecidea incongrua Nyl., L. vorticosa Kbr., Toninia congesta Hepp., Thalloidima mammillare Gouan., Biatora atrofusca Th. Fr.).

In dem kohligen Schlauchboden von Lecidea macrocarpa Th. Fr. dagegen kommen blos zweischichtige Zellwände vor: die innerste Membranlamelle ist farblos und etwa von gleicher Dicke wie die den benachbarten gemeinsame, ganz dunkelbraune Mittellamelle; quellbar ist keine von beiden.

Bezüglich des Hymeniums und Epitheciums verweise ich auf die in der Einleitung gegebene Uebersicht, welche unter besonderer

Berücksichtigung der braunen Apothecien verschiedener Parmeliaceen zusammengestellt worden ist.

Es erübrigt nur noch, die chemischen Ergebnisse dieser Arbeit zusammenzufassen, was in Form von drei Tabellen geschehen ist. Die erste enthält eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Reactionen auf die zur Untersuchung gekommenen 17 Flechtenpigmente, nach deren Aussehen geordnet. Aus der zweiten Tabelle, welche das Reagenz in den Vordergrund stellt, ist ersichtlich, dass die Zahl der brauchbaren Reagentien zwar gering, aber doch grösser ist, als die Zahl derer, welche vom praktischen Lichenologen gebraucht werden. Sie hätte auch noch vermehrt werden können; denn Natronlauge und Ammoniakliquor bringen immer dieselbe, Baryt- und Kalkwasser öfters, Carbonate der Alkalien zuweilen dieselbe Veränderung des Farbstoffs hervor wie Kaliumhydroxyd, weil sie starke Basen sind oder doch basische Reaction besitzen. Allein neue Gesichtspunkte würde aus eben diesem Grunde ihre Aufnahme unter die angeführten Reagentien nicht gegeben haben. Blos Ammoniak verhält sich in einem Falle (Sagedia declivum), entsprechend seiner Sonderstellung unter den Basen, anders als diese. — Auch die verschiedenen Säuren wirken auf die meisten Pigmente in gleicher Weise ein, so dass sie sich gegenseitig vertreten können. Einzelne Ausnahmen macht Schwefelsäure (Segestria lectissima, Bacidiagrün), viele macht die Salpetersäure, was bei ihrer chemischen Eigenthümlichkeit nicht zu verwundern ist. Von den drei mineralischen Säuren hat die Salzsäure die geringste Verwendbarkeit; denn sie giebt für sich nicht eine einzige specifische Reaction. Chlorkalklösung, in der Hand des modernen Lichenologen das zweitwichtigste Reagenz, weil es viele krystallisirte Flechtenfarbstoffe in charakteristischer Weise verändert, ist bei der Untersuchung auf Membranfarbstoffe von nur geringem Nutzen, weil sie dieselben stets nach kurzer Zeit zerstört. Blos einen Fall lernte ich kennen, wo der Entfärbung eine auffallende Farbenänderung vorausgeht (Parmelia glomellifera).

Die dritte Tabelle giebt die Reactionen in solcher Anordnung, dass ihre Benutzung zu Bestimmungszwecken ermöglicht wird. Freilich glaube ich, dass der Lichenologe diese Arbeit enttäuscht weglegen wird. Denn er liebt es, bei seinen Bestimmungsarbeiten schnell zum Ziele zu kommen, womöglich schon durch makroskopische Reactionen. So bringt er beispielsweise einen Tropfen Kalilauge auf

eine gelbe Gasparrinia (Tornab.) und erkennt am Ausbleiben der Rothfärbung, dass er es mit G. medians (Nyl.) zu thun hat. Physcia caesia (Hoffm.) Nyl. und Ph. albinea Ach. unterscheidet er durch folgendes summarische Verfahren: Ein Tropfen Kalilauge wird auf die oberseitige Rinde gebracht. Tritt Gelbfärbung ein, so wird an einer anderen Stelle des Thallus ein kleines Rindenstückchen sammt der Gonidienschicht mittels des Scalpells abgehoben und das hier blossgelegte Mark mit Kalilauge betupft. Tritt abermals Gelbfärbung ein, so ist die betreffende Flechte Ph. caesia, bleibt dagegen das Mark farblos, so ist es Ph. albinea. Solchen Anforderungen dürften nur vier der von mir gegebenen Reactionen entsprechen, nämlich die mit Salpetersäure auf Parm. glomellifera und Phialopsis rubra, ferner die mit Schwefelsäure auf Segestria lectissima und Verrucaria purpurascens. Von diesen sind aber die zweite und vierte, blos vom Gesichtspunkte des Bestimmens aus betrachtet, entbehrlich, weil die betreffenden Flechten so auffällig gefärbt sind, dass sie auch ohne chemische Prüfung auf den ersten Blick erkannt werden können. Die übrigen Reactionen können nur durch mikroskopische Untersuchung erkannt werden, sind aber da so charakteristisch, dass sie zur Erkennung der Species oder doch wenigstens als Fingerzeig bei ihrer Bestimmung gute Dienste leisten können. Doch muss ich darauf zurückkommen: Die Zahl der Reagentien darf nicht auf Jod, Kalilauge und Chlorkalk beschränkt bleiben, sondern ist zu vermehren. — So lange die Natur eines Flechtenfarbstoffes chemisch noch nicht genau festgestellt worden ist, sollte seine Reaction gegen die eine oder andere Substanz überhaupt zu systematischen Zwecken nicht verwendet werden. Der Ort, an welchem sich die Pigmente befinden, darf nur durch sorgfältige mikroskopische Untersuchung ermittelt werden. Wenn es sich hierbei um krystallisirte Stoffe handelt, ist der Polarisationsapparat nicht zu entbehren. — Völlige Constanz im Auftreten der Flechtenfarbstoffe ist die Voraussetzung, ohne welche die Benutzung von Reactionen auf jene zu systematischen Zwecken nicht denkbar ist. Deshalb müsste vor Allem durch umfassende mikrochemische und monographische Arbeiten festgestellt werden, ob diese Constanz so gross ist, wie die Systematiker anzunehmen scheinen, ob derselbe Farbstoff an allen Exemplaren einer Art und ob er immer in denselben

Flechtentheilen auftritt. Denn es ist wohl denkbar, dass, wie schon vor Jahren von Paul Richter[1]) an Süsswasseralgen ein durch veränderte Ernährungsweise bedingter Wechsel der Färbung beobachtet worden ist, auch bei den Flechten die Ablagerung der Farbstoffe von den äusseren Bedingungen beeinflusst wird.

Um den flechtenbestimmenden Lichenologen die Benutzung dieser Arbeit zu erleichtern, füge ich der dritten Tabelle noch das alphabetische Verzeichniss derjenigen Flechten hinzu, in welchen ich einen nichtkrystallisirten Farbstoff aufgefunden habe. Von den Lichenen, welche ein negatives Resultat ergaben, sind nur solche mit aufgenommen worden, welche infolge dessen eine bemerkenswerthe Sonderstellung in einer bestimmten Gattung einnehmen, wie z. B. Lecidea canescens, Aspicilia alpina, einige Thalloidimaspecies. Ausserdem enthält die Uebersicht mehrere Arten, die im Texte keine Erwähnung finden konnten, weil sie erst jüngst untersucht worden sind. Wenn eine Flechte mehrerlei Farbstoffe führt, ist zu jedem derselben der Ort hinzugefügt worden, in welchem er auftritt.

Zum Schlusse drängt es mich, Herrn Oberlandesgerichtsrath Dr. F. Arnold für die Unterstützung, die er mir bei Abfassung dieser Arbeit durch Ueberlassung von Untersuchungsmaterial, sowie durch werthvolle Rathschläge und Mittheilungen hat angedeihen lassen, meinen verbindlichsten Dank auch hierdurch auszusprechen.

Tabelle I.

Uebersicht der wichtigsten Reactionen, mit Voranstellung des Farbstoffes.

A) Grüne und blaugrüne Farbstoffe.

Name des Farbstoffes	KHO	HNO_3	H_2SO_4	HCl	erst KHO, dann HCl
1. Lecidea grün	—	kupfer- bis weinroth	—	—	blau
2. Aspicilia-grün	—	lebhafter u. reiner grün	—	—	—

1) Richter, Ueber den Wechsel der Farbe bei einigen Süsswasseralgen. Bot. Centralbl., Jahrg. 1880, No. 19.

Name des Farbstoffes	KHO	HNO_3	H_2SO_4	HCl	erst KHO, dann HCl
3. Bacidiagrün	—	violett	violett	violett	—
4. Thalloidimagrün	violett	undeutlich purpurroth			—
5. Rhizoidengrün	olivengrün bis -braun	olivengrün	—	—	—

B) Blaue und violette Farbstoffe.

Name der Flechte	H_2O	KHO	HNO_3	H_2SO_4	HCl
6. Biatora atrofusca	unlöslich	löst mit grünblauer Farbe	Violett-, dann Gelb-, endlich Entfärbung	löst auf	—
7. Arthonia gregaria	löslich	löst mit violetter Farbe	löst mit rother Farbe	löst mit indigblauer Farbe	—

C) Rothe Farbstoffe.

Name des Farbstoffes oder der ihn führenden Flechte	Aussehen des Farbstoffes	KHO	BaH_2O_2	NH_5O	HNO_3	H_2SO_4
8. Urceolaria ocellata	rosenroth	mit gelbbrauner Farbe gelöst		—	mit gelbbrauner Farbe gelöst	
9. Phialopsis rubra	ziegelroth	färbt trüb purpurroth			färbt violett	—
10. Lecanoraroth	purpurroth	färbt tief violett			färbt heller	—
11. Sagedia declivum	bläulichroth	blau (grün)	blau	erst grünblau, dann grauschwärzl.	—	—
12. Verrucaria Hoffmanni, f. purpurascens	rosenroth	dunkelgrün		—	—	erst KHO, dann HNO_3, H_2SO_4: violette Krystalle.

D) Braune Farbstoffe.

Name des Farbstoffes od. d. ihn führenden Flechte	Aussehen des Farbstoffes	KHO	H_2SO_4	HNO_3	$CaCl_2O_2$
13. Bacidia fusco-rubella	gelb-bräunlich	[ebenso BaH_2O_2, NH_5O] violett	—	—	—
14. Sphaeromphale clopismoides	leberbraun	intensiv olivengrün	—	erst KHO, dann H_2SO_4, dann HNO_3: schwärzl.	—
15. Segestria lectissima, Perithecien	gelbbraun	morgenroth	verd: hellgelb	hellgelb	—
15a. Segestr. lectissima, das ganze Gewebe	braun und farblos	—	conc: intensiv violett, später weinroth	—	—
16. Parmelia glomellifera	lederbraun	—	—	erst blau, dann violett, endlich grau	erst blau, dann grau, endlich entfärbt
17. Parmelia-braun	gelb- bis schwarzbraun	schmutzig- bis olivenbraun	—	hell rothbraun	—

Tabelle II.

Uebersicht der wichtigsten Reactionen, mit Voranstellung des Reagenzes.

NB. Die mit *) bezeichneten Reactionen sind wenig charakteristisch.

Reagenz	urprüngl. Färbung	neue Färbung	Name des Farbstoffes oder der ihn führenden Flechte
KHO	grün	violett	4. Thalloidimagrün
	bläulichgrün	olivengrün*)	5. Rhizoidengrün
	blau	löst mit grünblauer Farbe	6. Biatora atrofusca

Reagenz	ursprüngl. Färbung	neue Färbung	Name des Farbstoffes oder der ihn führenden Flechte
KHO	violett	löst mit violetter Farbe*)	7. Arthonia gregaria
	rosenroth	löst mit gelbbrauner Farbe*)	8. Urceolaria ocellata
	ziegelroth	trüb purpurroth*)	9. Phialopsis rubra
	purpurroth	tief violett	10. Lecanoraroth
	bläulichroth	blau (grün)	11. Sagedia declivum
	rosenroth	dunkelgrün	12. Verrucaria purpurasc.
	gelbbräunlich	violett	13. Bacidia fusco-rubella
	leberbraun	intensiv olivengrün	14. Sphaeromphale clop.
	gelbbraun	morgenroth	15. Segestria lect., Perith.
H_2SO_4	grün	violett	3. Bacidiagrün
	grün	undeutlich purpurroth*)	4. Thalloidimagrün
	blau	löst mit blauer Farbe*)	6. Biatora atrofusca
	violett	löst mit indigblauer Farbe	7. Arthonia gregaria
	rosenroth	löst mit gelbbrauner Farbe*)	8. Urceolaria ocellata
	theils braun, theils farblos	intensiv violett, später weinroth	15a. Segestria lectissima
HNO_3	grün	kupfer- bis weinroth	1. Lecideagrün
	grün	lebhafter und reiner grün	2. Aspiciliagrün
	grün	violett	3. Bacidiagrün
	grün	undeutlich purpurroth*)	4. Thalloidimagrün
	bläulichgrün	olivengrün*)	5. Rhizoidengrün

Reagenz	ursprüngl. Färbung	neue Färbung	Name des Farbstoffes oder der ihn führenden Flechte
HNO_3	blau	violett, dann gelb, endlich entfärbt	6. Biatora atrofusca
	violett	löst mit rother Farbe*)	7. Arthonia gregaria
	rosenroth	löst mit gelbbrauner Farbe*)	8. Urceolaria ocellata
	ziegelroth	violett	9. Phialopsis rubra
	purpurroth	färbt heller*)	10. Lecanoraroth
	lederbraun	erst blau, dann violett, endlich grau	16. Parmelia glomellifera
	gelb- bis schwarz-braun	lebhaft gelbbraun	17. Parmeliabraun
NH_5O	ziegelroth	trüb purpurroth*)	9. Phialopsis rubra
	purpurroth	violett*)	10. Lecanoraroth
	bläulichroth	erst grünblau, dann grauschwärzlich	11. Sagedia decliv.
$CaCl_2O_2$	lederbraun	erst blau, dann grau, endlich entfärbt	16. Parmelia glomellifera
erst KHO, dann HCl	grün	blau	1. Lecideagrün
erst KHO, dann HNO_3, endl. H_2SO_4	rosenroth	violette Krystalle	2. Verrucaria purpurasc.

Tabelle III.

Analytischer Schlüssel zur Benutzung der Reactionen bei Bestimmung der Flechten.

1. Der Farbstoff sieht grün oder bläulichgrün aus.
   A) Präparat mit verdünnter Kalilauge versetzt: Violettfärbung . . . . Thalloidimagrün
   B) KHO verändert den Farbstoff nicht, oder doch nicht in auffälliger Weise,
      a) HNO_3 bringt eine sehr auffallende Farbenänderung hervor,

α) HNO_3 verändert grün in roth . . . Lecideagrün
β) HNO_3 verändert grün in violett . . Bacidiagrün
b) HNO_3 bringt eine so auffallende Farbenänderung nicht hervor,
α) HNO_3 verändert schmutziggrün in reingrün . . . . Aspiciliagrün
β) HNO_3 verändert blaugrün in olivengrün . . . . Rhizoidengrün
2. Der Farbstoff sieht rein blau aus.
A) HNO_3 färbt in verd. Zustand schön roth . . Lecanora Agardhiana (vergl. Lecideagrün)
B) verd. HNO_3 verändert den Farbstoff nicht, KHO löst mit grünblauer Farbe . . . . . Biatora atrofusca
3. Der Farbstoff sieht violett oder bläulichroth aus.
A) in Wasser löslich, in conc. H_2SO_4 mit indigblauer Farbe löslich . . . . Arthonia gregaria
B) in Wasser unlöslich; H_2SO_4 verändert nicht, KHO färbt blau (grün) . . . . Sagedia declivum
4. Der Farbstoff sieht roth aus.
A) Er wird von keinem Reagenz wesentlich verändert, Säuren und Basen färben ihn gelbbräunlich . . . . Urceolaria ocellata
B) Er wird .durch ein Reagenz auffallend verändert,
a) HNO_3 färbt schön violett . . . . Phialopsis rubra
b) HNO_3 färbt nicht violett,
α) Ammoniakliquor färbt erst grünblau, dann grauschwärzlich, KHO färbt blau Sagedia decliv. (s. o.)
β) NH_5O färbt nicht grauschwärzlich,
αα) KHO färbt schön violett . . . . Lecanoraroth
ββ) KHO färbt dunkelgrün . . . . . Verrucaria Hoffm., f. purpurascens.
5. Der Farbstoff sieht braun aus.
A) Er wird von keinem Reagenz auffallend verändert . . . . Parmeliabraun
B) Er wird durch ein Reagenz auffallend verändert,

a) KHO bringt keine wesentliche Veränderung hervor,
  α) HNO_3 färbt erst blau, dann violett . Parm. glomellifera
  β) HNO_3 färbt nicht blau, conc. H_2SO_4 färbt schön violett, später weinroth . Segestria lectissima (Rinde)

b) KHO bringt eine wesentliche Veränderung hervor,
  α) HNO_3 färbt nach vorausgegangener Einwirkung von KHO und H_2SO_4 schwärzlich, KHO allein blau . . . . Sphaeromphale clopismoides
  β) HNO_3 färbt nicht schwärzlich,
    αα) KHO färbt violett . . . . Bacidia fusco-rubella
    ββ) KHO färbt morgenroth . . . . . Segestria lectissima (Perithecium)

6. Der Gewebetheil ist gänzlich farblos; H_2SO_4 färbt ihn schön violett, dann weinroth (s. o.) Segestria lectissima (Mark).

IV. Alphabetisches Verzeichniss der untersuchten Flechten mit ihren Farbstoffen.

Flechte	Farbstoff
Arthonia gregaria	Arthviol.
Arthrosporum accline	Bacdgrn.
Aspicilia adunans f. glacialis	Aspgrn.
„ alpina nicht	„
„ caesiocinerea	Aspgrn.
„ calcarea	„
„ candida	„
„ cinerea	„
„ flavida f. caerulans	Lecgrn.
„ laevata	Aspgrn.
„ laevata f. albicans	„
Aspicilia silvatica	Aspgrn.
„ verrucosa	„
Bacidia fuscorubella	Bacdbrn.
„ muscorum	Bacdgrn.
Biatora atrofusca { Hym:	Biatblau
Biatora atrofusca { Hypth:	Parmbrn.
Biatora infidula	Lecgrn.
„ ochracea	Parmbrn.
„ viridescens	Aspgrn.
Bilimbia melaena	Lecgrn.
„ trisepta	„
Buellia atrata	„
Callopisma executum	„
Catillaria athallina	Thallgrn.

Flechte	Farbstoff
Cercidospora epipolytropa	Lecgrn.
Cornicularia tristis	Parmbrn.
Gyrophora anthracina	„
„ crustulosa	„
„ cylindrica	„
„ hirsuta	„
„ hyperborea	„
„ microphylla	„
„ Mühlenbergii	„
„ murina	„
„ polyphylla	„
„ spodochroa	„
„ vellea	„
Lecanora Agardhiana	Lecgrn.
Lecanora atra { Hym:	Lecanroth
{ Hypth:	Parmbrn.
Lecanora badia	Parmbrn.
Lecidea aglaea	Lecgrn.
„ arctica	„
„ armeniaca	„
„ athroocarpa	„
„ caerulea	„
„ canescens	nicht Lecgrn.
„ crustulata	Lecgrn.
„ Dicksonii Ach.	„
„ enteroleurca	„
„ fuscoatra	„
„ fuscoatra f. subcontigua	„
Lecidea incongrua { Epith:	Lecgrn.
{ Hypth:	Parmbrn.
Lecidea inserena Nyl.	Lecgrn.
„ intumescens	„
„ lactea	„
„ latypaea	„
Lecidea lithyrga { Epith:	Lecgrn.
{ Hypth:	Lecanroth.

Flechte	Farbstoff
Lecidea macrocarpa { Epith:	Lecgrn.
{ Hypth:	Parmbrn.
Lecidea marginata	Lecgrn.
„ olivacea	„
„ parasema	„
„ Pilati	„
„ platycarpa	„
„ platycarpa f. flavicunda	„
„ promiscens	„
„ silacea Ach.	„
„ speira	„
„ sublutescens	„
„ tenebrosa	„
„ tessellata	„
„ turgidula	„
Lecidea vorticosa { Hym:	Lecgrn.
{ Hypth:	Parmbrn.
Lecidea Wulfeni	Lecgrn.
Lithographa cyclocarpa	Parmbrn.
Maronea Kemmleri	„
Nephoroma lusitanica	„
Pannaria caeruleobadia	Lecgrn.
„ microphylla	„
Parmelia aspidota	Parmbrn.
„ caperata	„
„ conspersa	„
„ fuliginosa	„
„ glomellifera	Glombrn.
„ olivacea	Parmbrn.
„ perlata	„
„ prolixa	„
Parmel. pulverulenta { obs. Rinde	„
{ us. „	Rhizgrn.
Parmelia pulverulenta, f. lilacina	„
Parmelia revoluta	Parmbrn.

Parmelia saxatilis	Parmbrn.
„ stygia	„
„ tiliacea	„
„ verruculifera	„
Pertusaria inquinata	Thallgrn.
„ subobducens	„
„ Wulfenii	nicht „
Phialopsis rubra	Phialroth.
Physcia aipolia { Thallus:	Parmbrn.
Physcia aipolia { Sporen:	Rhizgrn.
Physcia ciliaris	Parmbrn.
„ obscura	„
Physcia stellaris { Thallus:	„
Physcia stellaris { Sporen:	Rhizgrn.
Physcia tenella, Sporen	„
Rhizocarpon, Sporen	„
Rhizocarpon distinctum { Epith:	Lecgrn.
Rhizocarpon distinctum { Hypth:	Parmbrn.
Rhizocarpon geographicum	Lecanroth.
Rhizocarpon obscuratum	Lecgrn.
Rhizocarpon viridiatrum	Lecanroth.
Rinodina milvina	Parmbrn.
„ mniaria	„
Sagedia declivum {	Sagdroth.
Sagedia declivum { Perithec.	Parmbrn.
Segestria lectissima	Segbrn.
Sphaeromphale clopismoides	Sphrbrn.
Thalloidima candidum	Thallgrn.
„ diffractum	„
Thalloidima mammillare	Parmbrn.
Thalloidima rosulatum	Thallgrn.
„ tabacinum	nicht Thallgrn.
„ Toninianum	nicht Thallgrn.
Toninia congesta	Parmbrn.
Umbilicaria pustulata	„
Urceolaria ocellata	Urcroth.
Verrucaria Hoffmanni f. purpurasc.	Verrucroth.

Figuren-Erklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Arthonia gregaria (Weig.) Kbr. Querschnitt durch ein Apothecium; p,p: Baumrinde, h,h: Hymenium, k,k: Ablagerung des krystallisirten, a,a: des amorphen Farbstoffes.

Fig. 2a. Arth. gregaria. Partie aus der Rinde des Wirthes; drei Zellen enthalten den violetten, amorphen Farbstoff; g,g: Gonidien.

Fig. 2b. Dasselbe Präparat nach Entfernung des Farbstoffes; an Stelle des letzteren Hyphen sichtbar.

Fig. 3. Parmelia prolixa Ach. Querschnitt durch die oberseitige Rinde; r = farbloser, aus Zellen zusammengesetzter Theil; f = farblose, homogene Aussenschicht.

Fig. 4. Parmelia prolixa Ach. Querschnitt durch die unterseitige Rinde.

Fig. 5. Cornicularia tristis Ach. Querschnitt durch die Thallusrinde; Bezeichnung wie oben.

T. I bis T. V: schematische Darstellung der fünf Typen der Farbstoffvertheilung in den Paraphysen der Apothecien (vergl. p. 11–13 des Textes).

Beiträge zur Kenntniss der Aleuronkörner.

Von

Franz Lüdtke.

Hierzu Tafel II—IV.

Geschichtliches.

Die Entdeckung der Aleuronkörner verdanken wir Th. Hartig. Derselbe fand sie in ölreichen Samen (Lupinus, Bertholletia u. a.) und beschrieb sie unter dem Namen „Klebermehl" zunächst in einer vorläufigen Mittheilung [1]). Seine weiteren Aufzeichnungen, welche eine ausführliche Schilderung seiner Untersuchungen enthalten, finden wir in mehreren Nummern der „Bot. Ztg." des Jahres 1856 und 1858 [2]). Der genannte Forscher weist in seinen Veröffentlichungen auf die grosse Verbreitung dieser bis dahin unbekannten Körper hin und hebt als ihre charakteristische Eigenschaft ihre leichte Zerstörbarkeit durch Wasser hervor, worin zugleich die Ursache zu suchen ist, dass sie früher den Blicken der Mikroskopiker entgangen sind. Er empfiehlt daher, die Aleuronkörner in Oel oder concentrirtem Glycerin zu betrachten. Seine Untersuchungen über die Natur der Einschlüsse, über die chemische Beschaffenheit der „Hüllmasse", über Bildung und Lösung der Aleuronkörner sind für die damalige Beantwortung der Frage von ausserordentlicher Reichhaltigkeit, aber nicht hinreichend, den wahren Zusammenhang dieser Verhältnisse aufzuklären.

---

1) Th. Hartig, Ueber das Klebermehl, Bot. Ztg. 1855, p. 881.

2) Weitere Mittheilungen, das Klebermehl betreffend, Bot. Ztg. 1856, p. 257 u. ff.; Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims, Bot. Ztg. 1858, p. 108 u. ff.

Er verkannte vor Allem die Natur der Membranen, auch machte er zwischen Krystallen und Krystalloiden, welche wie alle übrigen Einschlüsse aus dem Zellkern hervorgehen und bei der Auflösung wieder in einen solchen verwandelt werden sollten, keinen Unterschied. Späteren Forschern war es vorbehalten, unsere Kenntniss der Aleuronkörner zu erweitern, so dass namentlich über ihre morphologischen Verhältnisse keine Zweifel mehr vorhanden waren. Die von Hartig eingeführte, auf irrthümlichen Anschauungen beruhende terminologische Bezeichnung der Einschlüsse musste vor allen Dingen aufgegeben werden. Durch Nägeli's Untersuchungen über die Krystalloide [1]) wurde zunächst die Natur der Einschlüsse dieser Kategorie als krystallähnliche Proteïnstoffe endgültig bewiesen, und die von diesem Forscher eingeführte Bezeichnung „Krystalloid" ist seit dieser Zeit beibehalten worden. — Das durch Hartig erschlossene Gebiet dieser Reservestoffe, ihre grosse Verbreitung und ihre oft zierlichen Formen erregten allgemeine Aufmerksamkeit, namentlich waren es v. Holle [2]) und O. Maschke [3]), welche sich alsbald mit dem Studium der Aleuronkörner beschäftigten. Ersterer constatirte ihr Vorkommen in den Samen von über hundert verschiedenen Pflanzenfamilien, adoptirte aber im Ganzen die Ansichten Hartig's, während O. Maschke sein Augenmerk darauf richtete, die Aleuronkörner zu isoliren. Als Ausgangsmaterial wählte er die an „Klebermehl" reichen Samen von Bertholletia excelsa, welche er nach dem Zerreiben und Entfetten einem wiederholten Schlemmprocess mit Olivenöl unterwarf. Das anhaftende Oel entfernte er durch Auswaschen mit Aether und erhielt so eine Ausbeute von 5,5 Procent. Er behandelte die „Kleberkörnchen" mit verschiedenenen Reagentien, um einerseits die Membran sichtbar zu machen, andererseits aber auch die chemische Beschaffenheit „der Klebermasse" aufzuklären. Er kam zu dem Schluss, dass die Hüllhaut Korksubstanz und keine Cellulose

1) Nägeli, Ueber die aus Proteïnsubstanzen bestehenden Krystalloide in der Paranuss. Sitzungsberichte der Münchener Akademie 1862, Bd. II, p. 120.

2) v. Holle, Neues Jahrbuch für Pharmacie von Walz und Winkler 1858 und 1859, Bd. X, XI u. XII.

3) O. Maschke, Ueber den Bau und die Bestandtheile der Kleberbläschen in Bertholletia excelsa, deren Entwickelung in Ricinus nebst einigen Bemerkungen über Amylonbläschen. Bot. Ztg. 1859, p. 409 ff.

sei, die Krystalloide aber aus Caseïn mit einer unbekannten Säure und die Globoide aus Bassorin und einer proteïnartigen Substanz zusammengesetzt seien.

Von weiteren Arbeiten ist zunächst diejenige von Trécul[1]) hervorzuheben, welcher Autor durch seine Untersuchungen zu dem Resultat gelangt, dass die „Proteïnkörner" ganz oder theilweise aus Fett bestehen könnten, eine Ansicht, in der ihm Sachs[2]) beipflichtete. Seine Erklärung über die Entstehung der Krystalloide, sowie seine Beobachtung wasserlöslicher Globoide beruhen auf irrthümlichen Anschauungen. Ausführliche Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte und Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen verdanken wir Gris[3]). Dieser Forscher gelangt zu dem Resultat, dass die Proteïnkörner niemals Umwandlungsproducte von Chlorophyll- oder Stärkekörnern sein können, vielmehr selbstständige Gebilde darstellen.

Während einer Reihe von Jahren finden wir nun in der Litteratur nicht eine einzige Aufzeichnung über die Aleuronkörner, bis endlich W. Pfeffer[4]) diesem Gebiete seine Aufmerksamkeit zuwandte und durch eine ausserordentlich reichhaltige, durch eine Fülle von Material ausgezeichnete Arbeit eine endgültige Klärung der sehr aus einander gehenden Ansichten herbeiführte. Er lieferte zunächst den Beweis, dass das Fett der Samen ausschliesslich der Grundmasse der Zelle angehört, niemals aber in den Aleuronkörnern enthalten ist. Er findet ferner, dass die Hauptmasse dieser Gebilde aus Proteïnstoffen besteht, und dass deshalb die von v. Holle eingeführte Bezeichnung Proteïnkörner die zutreffendste ist. Wir verdanken dem genannten Forscher fernerhin die Aufklärung über die chemische Zusammensetzung der Einschlüsse. Er hat zuerst bewiesen,

1) Trécul, Des formations vésiculaires etc., Annales des scienc. nat. 1858 IV sér., t. X, pl. 20—127—205 etc.

2) Sachs, Keimung der Dattel, Bot. Ztg. 1862, p. 242. — Keimung von Allium Cepa, Bot. Ztg. 1863, p. 56 und Lehrbuch, II. Auflage, p. 52.

3) Gris, Recherches sur la germination, Annal. d. scienc. nat. 1864, V sér., t. II, pl. 1.

4) W. Pfeffer, Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. Pringsheim's Jahrbücher für wiss. Botanik, Bd. VIII, 1872, p. 429 ff.

dass die Krystalle [1]) aus oxalsaurem Kalk, die Globoide aber aus einem Kalk- und Magnesiumdoppelsalze einer (mit einem organischen Körper [Zucker?]) gepaarten Phosphorsäure nebst Spuren von Proteïn bestehen [2]). Es ist dies das erste Beispiel einer grösseren, exact durchgeführten qualitativen mikrochemischen Analyse. — Auch die Entwickelungsgeschichte und die Rückbildung der Aleuronkörner ist von ihm an mehreren Samen eingehend studirt und dadurch die Ansichten von Gris und Trécul, nach welchen Autoren die Einschlüsse in besonderen „Vacuolen" gebildet werden sollten, widerlegt worden. Pfeffer hat gezeigt, dass sämmtliche Einschlüsse frei im Zellinhalt gebildet werden, und dass jene Vacuolen einem Druck auf das Deckglas ihre Entstehung verdanken.

Die Auflösung der Proteïnkörner glaubt Pfeffer auf das Vorhandensein von saurem Kaliphosphat zurückführen zu müssen. Auch die Fixirung der leicht in Wasser löslichen Aleuronkörner, welche durch eine zwölfstündige Maceration der Samenschnitte in 2 procentigem Sublimatalkohol bewirkt wird, ist von diesem Forscher zuerst angewandt worden.

Nach dem Erscheinen der Pfeffer'schen Arbeit sind nur noch speciellere Gebiete näher untersucht worden. So hat sich M. G. Raffinesque [3]) mit der Membran der Aleuronkörner von Ricinus und Aleurites beschäftigt. Das ganze Korn fand er überzogen von einer Hüllhaut, welche 50—80 netzförmige Vertiefungen zeigte.

Tangl [4]) macht gelegentlich seiner Untersuchungen über das Protoplasma der Erbse die Entdeckung, dass die Aleuronkörner dieser Pflanze Träger eines Farbstoffes sind und in Beziehung stehen zu den peripherischen Hautschichten und Hautschichtsäcken der Zellen. Die Art und Weise der Quellung und der Rückbildung, die

1) Die Natur der Krystalloide wurde bereits von Nägeli aufgeklärt; vergl. p. 63.

2) Neuerdings neigt jedoch Pfeffer in seiner Pflanzenphysiologie p. 339 der Ansicht hin, dass in den Globoiden wie in den Krystalloiden ein Magnesiavitellat enthalten sei.

3) M. G. Raffinesque, De l'enveloppe des grains d'Aleurone, Bull. de la soc. Linnéenne de Paris 1874.

4) E. Tangl, Das Protoplasma der Erbse, Sitzungsberichte der Wiener Akademie LXXVI Dec., 2 Abhandlungen.

er bei diesen Aleuronkörnern beobachtete, kann natürlich nur für diesen speciellen Samen von Bedeutung sein. Im Allgemeinen stellt er die Behauptung auf, dass die Aleuronkörner nicht durch die Gegenwart von Kaliphosphat (Pfeffer), sondern erst nach erfolgter Desorganisation der Auflösung zugeführt werden.

Godefrin [1]) hat seine Untersuchungen über eine grosse Anzahl von Samen ausgedehnt und die Beziehungen zwischen Aleuron, Amylum, Fett und Endosperm in eine tabellarische Uebersicht gebracht.

Bezüglich der Entwickelung der Aleuronkörner bemerkt er, dass dieselbe entweder in der ganzen Masse des Kornes vor sich geht, oder dass zuerst Stäbchen entstehen. Bei der ersten Form erscheint das Korn homogen im Zellinhalt und nimmt erst bei der Reife bestimmte Gestalt an, während bei der anderen sich an der Zellwand gebogene Stäbchen bilden, welche sich zu einem Ring zusammenlegen. Die Einschlüsse bilden sich stets zuerst, und um diese legt sich die Hüllmasse mit oder ohne vorherige Ringbildung.

Bei der Auflösung geht zunächst die Hüllmasse in Lösung, und die Einschlüsse werden in Freiheit gesetzt. Bei den einschlussfreien bilden sich kleine Vacuolen, welche zu einer grossen zusammenfliessen. Auf diese Weise entsteht ein Ring, der bald in Fragmente zerfällt, oder die Vacuolen werden von aussen durch locale Lösung bis auf einen mondsichelförmigen Rest reducirt, der sich schliesslich allmählich löst.

Proteïnkrystalloide finden sich ausser als Einschlüsse der Aleuronkörner auch noch freiliegend in anderen Pflanzentheilen. Van Tieghem [2]) beschreibt Krystalloide, welche sich bei der Entwickelung der Fructification der Mucorineen im Protoplasma bilden, in den Sporangien und Oosporangien aber nicht vorkommen.

J. Klein [3]) hat sie in zahlreichen Meeresalgen aufgefunden, Radlkofer [4]) in den Zellkernen verschiedener Gewebetheile der

1) Godefrin, Anatomie comparée des cotyledons et de l'albumen. Annal. des scienc. nat., 6 sér., t. XIX.

2) Ph. van Tieghem, Nouvelles recherches sur les Mucorinées. Annal. des scienc. nat., II sér., t. I, pl. 5.

3) J. Klein, Beiträge zur Kenntniss der Krystalloide der Meeresalgen, Anzeigen der Ung. Akad. d. Wissenschaften 1879, XIII, No. 4, p. 85.

4) Radlkofer, Ueber Krystalle proteïnartiger Körper, Leipzig 1859.

Lathraea squamaria, und Cohn [1]) fand sie in dem Protoplasma der unter der Korkschicht liegenden stärkefreien Zellen des Kartoffelknollen. — Eine ausführliche krystallographische Arbeit über die Proteïnkrystalloide hat Schimper [2]) geliefert. — Die chemische Natur der Aleuronkörner ist aufzuklären versucht worden von H. Ritthausen [3]), Schmiedeberg [4]), R. Sachsse [5]) und S. H. Vines [6]). In einer neueren Arbeit giebt H. Ritthausen [7]) eine tabellarische Uebersicht seiner Ergebnisse, welche sowohl mit seinen früheren als auch mit denen anderer Forscher gut übereinstimmen. Hiernach enthalten die Aleuronkörner sehr fettreicher Samen (Bertholletia, Arachis, Aleurites, Helianthus und Ricinus) durchschnittlich

12,24 Theile Asche,
16,03 „ Stickstoff,
66,97 „ Proteïn

in hundert Theilen.

Schmiedeberg und Drechsel [8]) haben eine Magnesiumverbindung der Krystalloide dargestellt; jedoch ist man über die wahre Natur dieser in kleinen glänzenden Krystallen sich abscheidenden Verbindung noch nicht völlig aufgeklärt.

Eine ausführliche, übersichtliche Darstellung des über die Aleuronkörner Bekannten verdanken wir A. Tschirch.

In seiner Angewandten Pflanzenanatomie [9]) begegnen wir zum ersten Male einer klaren Definition der einzelnen Einschlüsse und der übrigen morphologischen Begriffe. Durch zahlreiche Forschungen hat

1) Cohn, 37. Jahresbericht d. Ges. für Schlesische Cultur, 1859, p. 72.

2) A. F. W. Schimper, Untersuchungen über die Proteïnkrystalloide, Inaugural-Dissertation, Strassburg 1878.

3) H. Ritthausen, Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie, Bd. 16, p. 207.

4) Schmiedeberg, Zeitschrift f. physiologische Chemie, Bd. I, p. 205.

5) R. Sachsse, Ueber die Proteïnkrystalloide der Bertholletia excelsa, Sitzungsbericht der naturforsch. Gesellschaft, Leipzig, III, p. 23.

6) S. H. Vines, On the chemical composition of Aleuron grains. Proceedings of the Royal Society 1880, p. 387.

7) H. Ritthausen, Ueber die Eiweisskörper verschiedener Oelsamen, Journal für pract. Chemie. Neue Folge, Bd. 24, p. 257.

8) E. Drechsel, Ueber die Darstellung krystallisirter Eiweissverbindungen, Journal für pract. Chemie, Bd. 127, 1879, p. 331.

9) A. Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie, Wien und Leipzig, 1889, Bd. I, p. 41 u. ff.

der genannte Verfasser das Gebiet nicht nur erweitert, sondern auch auf die bisher unberücksichtigt gebliebene diagnostische Bedeutung der Aleuronkörner hingewiesen.

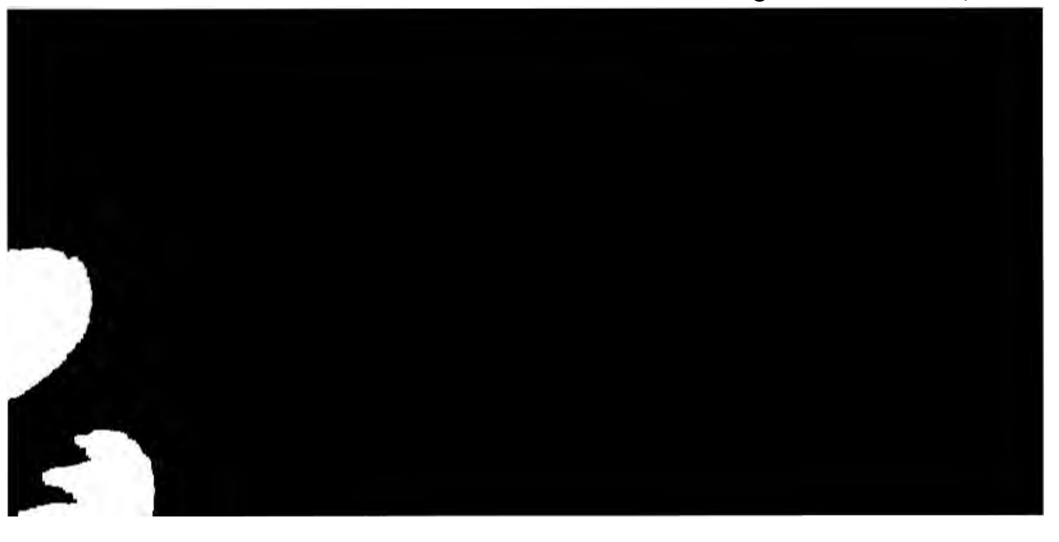
Neuerdings hat J. H. Wakkers [1]) die Entwickelungsgeschichte der Aleuronkörner studirt und die bereits von Gris [2]) gemachte Beobachtung, dass die Bildung der Aleuronkörner bezw. der Einschlüsse in besonderen, mit Eiweiss erfüllten Vacuolen vor sich gehen soll, von Neuem beschrieben.

F. Werminski [3]), welcher sich mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt hat, kommt zu denselben Ergebnissen und versucht ausserdem den Beweis zu führen, dass die Bildung der Aleuronkörner lediglich als ein chemisch-physikalischer Process aufzufassen sei.

Im Verlaufe meiner Arbeit werde ich Gelegenheit finden, des Oefteren auf die Resultate dieser beiden Forscher zurückzukommen.

Dieser historische Ueberblick der bisher über die Aleuronkörner bekannten Thatsachen zeigt, dass man wohl eine umfangreiche Kenntniss der in Betracht kommenden Verhältnisse besitzt, in vielen Beziehungen aber noch nicht zu befriedigenden Resultaten gelangt ist. In der verhältnissmässig schwierigen Präparation findet dieser Umstand wohl eine genügende Erklärung. Die allgemein befolgte Methode Pfeffer's, die Maceration in Sublimatalkohol, macht zwar die Mehrzahl der Aleuronkörner gegen Wasser resistent, bedingt aber zugleich eine tiefgreifende chemische Veränderung des Kornes und seiner Einschlüsse. Wir bedürfen daher vor Allem einer Präparationsmethode, welche uns die Aleuronkörner in normalem, unversehrtem Zustande studiren lässt.

Wollen wir fernerhin die Aleuronkörner zur Diagnose herbeiziehen,



um eine scharfe Charakterisirung der verschiedenen Einschlüsse zu ermöglichen. Erst hierdurch werden wir in den Stand gesetzt, eine vergleichende Betrachtung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner anzustellen, eine Betrachtung, welche an Bedeutung gewinnt, wenn wir eine genaue Messung des Kornes und seiner Einschlüsse hinzufügen. Da bisher nur die Formenverhältnisse der Aleuronkörner einer kleinen Anzahl von Pflanzen, meist solcher mit ölreichen Samen, bekannt sind, so ist es in hohem Grade, zumal für die diagnostische Verwerthung erforderlich, die vergleichende Betrachtung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner auf möglichst viele Pflanzenfamilien auszudehnen.

Gänzlich entbehren wir ferner Angaben über das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser, welche im Hinblick auf ihre leichte Zerstörbarkeit von grosser Wichtigkeit wären und uns namentlich einen Aufschluss über ihren Antheil an der Keimthätigkeit des Samens geben würden.

Am Schlusse der historischen Uebersicht haben wir gesehen, dass die Veröffentlichungen Pfeffer's[1]) über die Entwickelungsgeschichte und die Rückbildung der Aleuronkörner im Widerspruch stehen mit den Ergebnissen der Arbeiten von Wakkers und Werminski, es wäre daher von grossem Interesse, die gegenseitigen Angaben der genannten Forscher zu prüfen, um eine endgültige Klärung dieser Fragen herbeizuführen.

In der vorliegenden Arbeit habe ich auf Vorschlag von Herrn Dr. Tschirch versucht, die angedeuteten Lücken in der Kenntniss der Aleuronkörner auszufüllen und habe folgende Punkte einer näheren Betrachtung unterzogen:

1. Das Verhalten der Aleuronkörner gegen Reagentien.
2. Vergleichende Untersuchung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner nach Pflanzenfamilien.
3. Das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser.
4. Entwickelung der Aleuronkörner beim Reifen der Samen.
5. Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen der Samen.

1) a. a. O. p. 525.

I.

Das Verhalten der Aleuronkörner gegen Reagentien.

Eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Reactionen lässt sich nur an der Hand morphologischer Beziehungen gewinnen; es sei mir daher gestattet, jedem Abschnitt eine kurze Schilderung dieser Verhältnisse voranzuschicken.

Bekanntlich verstehen wir unter Aleuron die im ruhenden Samen vorkommenden, geformten Eiweisssubstanzen. Die Gestalt dieser auch als Aleuronkörner (Hartig, Tschirch), Proteïnkörner (v. Holle, Pfeffer), Klebermehl (Hartig, Maschke) bezeichneten Gebilde ist eine ausserordentlich variable. Von dem einfachsten, nur 1 Mik. grossen Körnchen, bis zu den complicirt zusammengesetzten, oft 60 Mik. grossen Aleuronkörnern finden wir alle Uebergänge in Form und Grösse. Je nachdem sie noch im Innern besonders geformte Körper führen oder frei von Einschlüssen sind, kann man sie in zwei grosse Gruppen eintheilen: in einschlussfreie oder einfache und in einschlussführende oder zusammengesetzte Aleuronkörner. Trotz der Verschiedenheit der Gestalt zeigen sie jedoch bezüglich ihres chemischen Charakters eine grosse Uebereinstimmung. Namentlich ist es ihr Verhalten gegen Kalilauge, welches uns sofort den erwünschten Aufschluss über ihre Identität verschafft. Durch dieses Reagens wird nämlich ausnahmslos die Gestalt der Aleuronkörner zerstört. Es tritt bei den einfachen vollständige, bei den zusammengesetzten theilweise Lösung ein: eine Reaction, welche stets so scharf charakterisirt ist, dass irgend welche Zweifel nicht entstehen können.

An einem Aleuronkorn vollendetster Ausbildung unterscheiden wir [1]):

1. die Membran,
2. die Grundsubstanz (Hüllsubstanz, Grundmasse [Pfeffer]),
3. die Einschlüsse.

---

1) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie. Wien und Leipzig, 1889, p. 45.

Letztere sind entweder:

a) Proteïnkrystalloide,

b) Globoide oder

c) Kalkoxalatkrystalle.

Es soll hiermit aber durchaus nicht gesagt sein, dass ein Aleuronkorn stets eine Grundsubstanz mit den drei unter einander absolut verschiedenen Einschlüssen enthalten muss — ein solcher Fall gehört vielmehr zu den grössten Seltenheiten, dagegen sind die wesentlichen Bestandtheile: Membran und Grundsubstanz bei jedem Aleuronkorn vorhanden, und wir müssen nun den Begriff Aleuron folgendermaassen definiren: „Unter einem Aleuronkorn verstehen wir einen mit einer Membran versehenen, in verdünnten Alkalien leicht löslichen, geformten Eiweisskörper von meist rundlicher Gestalt, welcher in seiner Grundsubstanz gleich- oder verschiedengestaltete Einschlüsse, theils von dem Charakter der Proteïnsubstanzen, theils von dem andersartiger Körper enthalten kann.“

1. Die Membran.

Die äussere Umhüllung der Aleuronkörner besteht aus einer sehr zarten, hyalinen Membran (Taf. II, Fig. 1, a), welche der Grundsubstanz dicht anliegt und gegen das Plasma so wenig differenzirt ist, dass man beim Betrachten der Schnitte in Wasser ihre Existenz kaum wahrzunehmen vermag. Die körnige Beschaffenheit, welche Pfeffer [1]) beobachtet hat, wird erst durch Reagentien hervorgebracht. Die in Wasser liegenden Aleuronkörner lassen nur in sehr wenigen Fällen die Membran sofort erkennen, ihre Sichtbarmachung ist mir indessen leicht gelungen durch Einbringen der Schnitte in Wasser von 100 ° C. (Taf. II, Fig. 18 a, b, c) oder in eine 1 procentige Osmiumsäurelösung. Sehr gute Dienste leistet auch Kalkwasser, welches die Grundsubstanz des Kornes stets zuerst löst, wodurch die Membran scharf sichtbar, dann aber auch nach vorherigem Aufquellen in Lösung gebracht wird. Natriumphosphat und verdünnte Kalilauge lösen die Membran zu schnell, als dass man ihre Conturen näher beobachten könnte. Nach Pfeffer [1]) soll die Membran in verdünnter Kalilauge erst nach längerer Zeit löslich

1) a. a. O. p. 449.

sein, ich habe indessen gefunden, dass selbst in sehr verdünntem Kali die Lösung der Membran vieler Aleuronkörner (z. B. Umbelliferen, Cruciferen, Leguminosen) sofort eintritt. Die Hüllmembran ist bei den meisten Aleuronkörnern von ausserordentlich zarter Beschaffenheit. Ihre Oberfläche ist sehr selten straff gespannt, sie erscheint meist mit grubigen Vertiefungen versehen (Taf. II, Fig. 7c und 13c).

Schon Hartig [1]), M. G. Raffinesque [2]) und auch Pfeffer [3]) beobachteten diese Erscheinung, ohne indessen eine ausreichende Erklärung hierfür zu geben. Diese Oberflächenskulpturirung wird bedingt durch das feste Anschmiegen der Membran an die meist durch Austrocknen contrahirte Grundsubstanz, sowie durch das Hervorragen excentrischer Einschlüsse. Sobald die Grundsubstanz in den Stand gesetzt wird, Wasser aufzunehmen, wie dies durch Einlegen der Schnitte in Wasser und auch in den ersten Keimungsstadien der Fall ist (Taf. II, Fig. 4 und 12), verschwinden die grubigen Vertiefungen, und die Membran bildet nun eine straff gespannte, widerstandsfähige Hülle von vollständig gleichmässiger Beschaffenheit. Alle noch so unregelmässig geformten Aleuronkörner nehmen durch solche Behandlung Kugelgestalt an (Taf. II, Fig. 4 und Fig. 11). Auch den Aleuronkörnern junger, aber reifer Samen fehlen jene grubigen Vertiefungen.

Eine Membran umschliesst alle Aleuronkörner, und auch in solchen Fällen, wo die Einschlüsse frei im Zellinhalt zu liegen scheinen, wodurch man den Eindruck erhält, als ob durch Zerreissen und Resorption der Membran scheinbar eine Zerstörung der Aleuronkörner vor sich gegangen wäre, ist es mir gelungen, durch vorsichtiges Behandeln der Schnitte mit Kalkwasser die Existenz der Membran nachzuweisen. Auch solche Aleuronkörner, deren Grundsubstanz zu einem structurlosen, dünnen Ueberzug zusammengetrocknet ist, lassen mit Hilfe dieser Methode deutlich eine Membran erkennen. Bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung ist die Membran von dem sie umgebenden Protoplasma durchaus ver-

---

1) Hartig, Bot. Ztg. 1858.
2) M. G. Raffinesque, vergl. p. 65.
3) Pfeffer, a. a. O. p. 434.

schieden. Ihre leichte Dehnbarkeit durch Einwirkung des Wassers, ihre relativ leichte Löslichkeit selbst in verdünnten Alkalien charakterisiren sie als ein durchaus selbstständiges Individuum.

2. Die Grundsubstanz.

Die Grundsubstanz (Tschirch), Hüllsubstanz, Hüllmasse (Pfeffer) besitzt eine verschiedene Ausdehnung. In den meisten Fällen besteht das ganze Korn aus ihr, und man müsste dann von einer Grundmasse[1]) sprechen, oder sie macht in Folge des Vorhandenseins von Einschlüssen nur einen grösseren oder kleineren Theil des Aleuronkornes aus, in welchem Falle sie nur die Bezeichnung Füllmasse verdienen würde. Ja sie kann sogar, namentlich bei Aleuronkörnern mit sehr grossen Einschlüssen, auf ein structurloses, nur durch die sorgsamste Präparation sichtbares Häutchen reducirt sein. Einen Einblick in ihre morphologische und chemische Beschaffenheit können wir nur dort gewinnen, wo sie in besonderer Grösse vorhanden ist. Sie ist in allen Fällen undurchsichtig, meist schwach gelb gefärbt und von homogener Beschaffenheit; bisweilen lassen sich aber auch ausserordentlich kleine oder grössere körnige Partikelchen in derselben erkennen, welche die feine Schattirung, die man in den ersten Momenten der Beobachtung eines Aleuronkornes oft wahrnimmt, hervorrufen.

Die Grundsubstanz der Aleuronkörner verschiedener Samen zeigt nur gegen sehr wenige Reagentien ein übereinstimmendes Verhalten. Vor Allem kann die leichte Löslichkeit in verdünnter Kalilauge (Pfeffer), Ammoniak (Hartig) und phosphorsaurem Natron (Pfeffer) als allgemeine Charakteristik der Grundsubstanz aufgestellt werden. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich festgestellt, dass letzteres Reagenz am vortheilhaftesten und zwar in gesättigter Lösung anzuwenden ist, die Dauer der Einwirkung desselben sich aber nicht auf ein bestimmtes Maass festsetzen lässt. Meist ist in 5—10 Minuten die Lösung vollendet. Gegen alle anderen Reagentien (Wasser, Sublimatalkohol etc.) zeigt die Grundsubstanz der Aleuronkörner verschiedener Samen ein durchaus anderes Verhalten, welche Erscheinung uns zu

---

1) Mit Grundmasse bezeichnet Pfeffer (a. a. O. p. 478) auch den Zellinhalt, welcher hiermit nicht verwechselt werden darf.

der Annahme berechtigt, dass dieselbe auch aus chemisch verschieden zusammengesetzten Eiweissstoffen gebildet ist.

In Wasser ist die Grundsubstanz sehr vieler Aleuronkörner, zumal solcher, bei welchen sie viele kleine Einschlüsse enthält oder überhaupt einschlussfrei ist, mit ausserordentlicher Schnelligkeit löslich, so dass man selbst bei sehr schneller Manipulation in den Zellen der Samenschnitte nur die zarten Conturen der Hüllmembran erblickt, innerhalb welcher die Einschlüsse in Molecularbewegung gerathen sind; oder aber es ist vollständige Zerstörung eingetreten, so dass nichts mehr die Präexistenz der Aleuronkörner verräth. — Bei einer Anzahl von Aleuronkörnern vermag das Wasser, selbst bei ziemlich andauernder Einwirkung, nur eine bestimmte Substanz aus der Grundsubstanz herauszulösen.

Die vorher grauweiss erscheinende Hüllmasse ist nun homogen und durchsichtig geworden und lässt uns sowohl die Hüllmembran als auch die stets constante Lagerung der Einschlüsse auf das Schönste erkennen. Bei wieder anderen Aleuronkörnern geht die Einwirkung des Wassers noch einen Schritt weiter; es treten innerhalb der Grundsubstanz Vacuolen oder Schichtungen auf, welche den Beobachter leicht zu Täuschungen veranlassen.

In allen Fällen aber wirkt Wasser mehr oder weniger lösend auf die Grundsubstanz ein, und man kann stets durch eine längere Einwirkung eine mehr oder minder vollständige Zerstörung des Aleuronkornes hervorbringen [1]).

Bringt man Aleuronkörner in Wasser von 100° C., so wird nur eine gegen Wasser von gewöhnlicher Temperatur widerstandsfähigere Grundsubstanz coagulirt (Pfeffer), dagegen gaben mir viele Versuche das Ergebniss, dass eine leicht angreifbare durch siedendes Wasser sofort zerstört wird (Amygdalus, Lupinus, Arachis etc.).

Um diesem leichten Zerfall der ihrer Grundsubstanz beraubten Aleuronkörner wirksam zu begegnen, wurde zuerst von Pfeffer [2]) die Fixirung derselben durch Maceration der Schnitte in einer 2procentigen alkoholischen Sublimatlösung angewendet. Allein meine Versuche lehrten mich, dass eine leicht in Wasser lösliche Grund-

1) Pfeffer, a. a. O. p. 447 u. 453.
2) Pfeffer, a. a O. p. 441 u. 443.

substanz auch durch diese Behandlung nicht gehärtet wird; selbst nach wochenlanger Maceration in dieser Flüssigkeit wird dieselbe in wenigen Augenblicken von Wasser gelöst (Amygdalus, Triticum, Zea Mais etc.). Ausserdem hat diese Methode neben vielen anderen Unbequemlichkeiten den Nachtheil, dass diejenige Grundsubstanz, welche mit Sublimat eine in Wasser beständige Verbindung eingeht, ihr natürliches Aussehen verliert, vollständig granulirt erscheint und nur durch Kalilauge gelöst werden kann, gegen phosphorsaures Natron dagegen vollständig unempfindlich geworden ist.

Viele zur Ermittelung eines besseren Verfahrens angestellten Versuche ergaben negative Resultate, bis ich endlich in dem absoluten Alkohol ein Mittel fand, durch dessen Anwendung die geschilderten Nachtheile vermieden werden. Es genügt in allen Fällen eine ein- bis zweitägige Maceration der Aleuronkörner in absolutem Alkohol, um sowohl die Grundmasse zu härten, als auch durch Lösung des die Aleuronkörner fast stets begleitenden Oeles die Schnitte aufzuhellen. Die mit absolutem Alkohol behandelte Grundsubstanz erscheint in den ersten Momenten der Beobachtung in Folge Wasserentziehung etwas contrahirt, nimmt aber bald ihre natürliche Gestalt an und verhält sich gegen Reagentien nun genau so, wie die nicht macerirte. Bei einer in Wasser sehr leicht löslichen Grundsubstanz tritt dieser Zustand freilich viel früher ein; allein durch einige Schnelligkeit in der Manipulation ist man sehr wohl im Stande, dieser Unannehmlichkeit vorzubeugen.

3. Die Einschlüsse.

a) Proteïnkrystalloide.

Die Krystalloide kommen von allen Einschlüssen am seltensten im Aleuronkorne vor und sind dann stets von einem oder mehreren Globoiden begleitet. Sie besitzen nicht immer die von regelmässigen Flächen und Kanten begrenzten Formen, häufig sind sie abgerundet und ihre Oberfläche mit tiefen Sprüngen und Rissen versehen. Immer aber sind sie durch ihre homogene Beschaffenheit und ihre relative Durchsichtigkeit scharf gegen die Grundsubstanz differenzirt. Jedes Krystalloid ist von einer besonderen, ausserordentlich zarten

Membran umgeben[1]). Von der Existenz dieses Häutchens kann man sich durch Anwendung von kali- oder säurehaltigem Glycerin nur schwierig überzeugen. Am einfachsten gelang mir die Sichtbarmachung dieser Membran durch die sich langsam vollziehende lösende Einwirkung des Kalkwassers. Lässt man zu einem krystalloidführenden Aleuronkorn langsam Kalkwasser treten (Taf. II, Fig. 2a—h, Linum usitatissimum), so wird zunächst die Hüllsubstanz und später die Membran des Kornes gelöst. Erst dann beginnt die Einwirkung auf das Krystalloid. Im ersten Stadium quillt es etwas auf und büsst dadurch seine krystallähnliche Gestalt ein (b u. c), um die einer Kugel anzunehmen. Alsbald bilden sich nun im Innern viele kleine Vacuolen (d u. e), die nach und nach zu einer grösseren zusammenfliessen (f u. g). Die Membran ist nun nicht mehr im Stande, dem starken Turgor zu widerstehen, sie zerreisst, die Lösung des Krystalloids vertheilt sich im Zellinhalt, und die Membran schlafft zu einem faltigen Häutchen zusammen, welches noch lange deutlich sichtbar bleibt, um dann später auch in Lösung zu gehen.

Die Krystalloide besitzen bezüglich ihres chemischen Verhaltens eine viel grössere Uebereinstimmung als die Grundsubstanz verschiedener Aleuronkörner.

Alle Krystalloide sind in Wasser vollständig unlöslich[2]). Bringt man die Krystalloide in Wasser von 60° C., so wird ein scharf umschriebener Kern coagulirt (Taf. II, Fig. 18a—c, Ricinus communis). Mit dem Steigen der Temperatur schreitet die Undurchsichtigkeit bis zum Rande vor, das ganze Krystalloid quillt auf und erfüllt das ganze, ebenfalls gequollene Aleuronkorn als schwammige Masse (Fig. 18c). Eine Erhaltung der Gestalt, die viele Autoren beobachtet haben wollen, findet niemals statt; alle Krystalloide nehmen ausnahmslos bei 100° C. eine blasig-schwammige Beschaffenheit an, und ein scharf conturirter Umriss lässt sich nicht mehr feststellen. Durch längeres Aufbewahren der Krystalloide in kaltem, viel schneller in

1) Pfeffer, a. a. O. p. 456 ff. — Nägeli, a. a. O. p. 133.

2) Bezüglich der Krystalloide der Paranuss habe ich meine Untersuchungen wegen Mangels an frischem Material noch nicht abschliessen können, doch kann ich schon jetzt sicher feststellen, dass sie gegen Reagentien ein durchaus anderes Verhalten zeigen als die Krystalloide der übrigen, von mir untersuchten Aleuronkörner.

heissem Glycerin werden sie von aussen nach innen fortschreitend gelöst (Taf. II, Fig. 19a, b).

Ein Erhitzen der Krystalloide auf höhere Temperaturen habe ich durch Einbetten derselben in Oel und Paraffin bewirkt, allein diese Umhüllungsmittel schützen dieselben derartig, dass selbst eine Temperatur von 150 ° C. keine Einwirkung auf das Aleuronkorn bezw. auf das Krystalloid besitzt.

Ebenso unlöslich wie in Wasser sind die Krystalloide in einer gesättigten Lösung von Natriumphosphat. Schon Pfeffer hat diese Beobachtung gemacht, und ich möchte die Wichtigkeit dieser Eigenschaft der Krystalloide ganz besonders hervorheben. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich bewiesen, dass man Samendurchschnitte in diesem Medium wochenlang aufbewahren kann, ohne die geringste lösende Einwirkung auf die Krystalloide zu beobachten. Nur solche Krystalloide, welche nicht zur vollständigen Ausbildung gelangten, und deren Kern also aus Grundsubstanz besteht, werden von dieser befreit und erscheinen nun durchlöchert. Phosphorsaures Natrium löst die Hüllsubstanz, welche sich fest an das Krystalloid angelegt hat und oft die Form desselben verdeckt, nach einiger Zeit vollständig ab, und die eigentliche Gestalt des Krystalloids tritt nun scharf hervor. Bisweilen hat sich auch in die Risse und Spalten des Krystalloids Hüllmasse eingelagert, welche alsbald gelöst wird und nicht selten einen Zerfall des Krystalloids herbeiführt. Auch solche Krystalloide büssen ihre Gestalt ein, welche sich in ihrer Ausbildung gegenseitig hinderten und nur durch Grundsubstanz zusammengekittet wurden.

Durch diese Unlöslichkeit der Krystalloide in gesättigter Natriumphosphatlösung besitzen wir also ein untrügliches Erkennungsmittel für dieselben, da sowohl Hüllmembran und Grundsubstanz und, wie ich später zeigen werde, alle übrigen Einschlüsse in denselben löslich sind.

In allen Fällen, in welchen die Globoide ein krystalloidähnliches Aussehen haben, oder in dem Präparat nur wenige, leicht zu übersehende krystalloidführende Aleuronkörner vorhanden sind, bleiben nach der Behandlung mit Natriumphosphat die Krystalloide als scharf umschriebene Körper zurück und können durch weitere Reagentien leicht ihrer Natur nach charakterisirt werden.

Jodjodkalium färbt die Krystalloide wie auch die Grundsubstanz gelb bis gelbbraun; durch Natriumphosphat wird diese Färbung aufgehoben.

Durch Maceration in 2procentigem Sublimatalkohol büssen sie in Folge der Bildung einer Quecksilberverbindung ihre homogene Beschaffenheit ein und erhalten ein graukörniges Aussehen.

Durch verdünnte Kalilauge werden alle Krystalloide, auch die vorher in Sublimatalkohol macerirten, schnell gelöst.

Ich habe gefunden, dass von allen verdünnten Alkalien das Kalkwasser als Lösungsmittel der Krystalloide den Vorzug verdient, da es wie kein anderes Reagenz die einzelnen Stadien der Lösung in erwünschter Weise zu beobachten gestattet.

Durch längeres Lagern der Krystalloide in salpetersaurer Silberlösung erhalten sie in Folge der Einlagerung von metallischem Silber ein graukörniges Aussehen.

b) Die Globoide.

Als Globoide bezeichnen wir die fast immer homogenen, durchsichtigen, kugelförmigen, selten traubigen oder wurmförmigen Einschlüsse der Aleuronkörner, welche einzeln oder zu vielen in denselben vorhanden sind, und welche, wie Pfeffer gezeigt hat, aus einem Kalk- und Magnesium-Doppelsalz einer mit einem organischen Körper gepaarten Phosphorsäure nebst Spuren von Proteïn bestehen. Nach neueren Ansichten soll zwar ein Magnesiumvitellat in den Globoiden enthalten sein; jedenfalls aber besitzen die Globoide aller Aleuronkörner dieselbe chemische Zusammensetzung, denn sie zeigen gegen Reagentien ein durchaus übereinstimmendes Verhalten.

Sie sind unlöslich in kaltem und siedendem Wasser, unlöslich ferner in verdünnten Alkalien, Kalkwasser, Kalilauge etc. Concentrirte Kalilauge, ebenso wie verdünnte Säuren, namentlich Essigsäure, führen sie sofort in Lösung über. Die Angabe Pfeffer's[1]), dass die Globoide in verdünnter Kalilauge vollständig unlöslich seien, habe ich nicht bestätigt gefunden. Nach einiger Zeit, oft schon nach wenigen Stunden, werden durch die Einwirkung der Kalilauge concentrische Schichten gebildet, worauf alsbald vollständige Lösung

1) Pfeffer, a. a. O. p. 477.

eintritt. Auch Kalkwasser ist im Stande, diese eigenthümliche Schichtung hervorzubringen (Taf. II, Fig. 2h).

Durch Jodjodkalium werden sie nicht oder nur äusserst schwach gefärbt, wodurch sie sich auf den ersten Blick von den Krystalloiden und der Grundsubstanz unterscheiden.

Weit wichtiger aber ist ihr Verhalten gegen eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natrium. Durch eine Reihe von Versuchen habe ich gefunden, dass alle Globoide in diesem Reagenz wenn auch langsam und erst nach Verlauf mehrerer Stunden, aber vollständig löslich sind. Zur Anstellung dieser Lösungsversuche eignen sich am besten die grossen Globoide von Vitis vinifera. Taf. IV, Fig. 10 zeigt ein im vorgerückten Lösungsstadium befindliches Globoid dieser Pflanze. Die Lösung schreitet, nachdem diejenige der Grundsubstanz bereits erfolgt ist, allmählich von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten vor. Die Randschicht tritt scharf hervor und documentirt sich durch ihre Widerstandsfähigkeit unzweifelhaft als ein zartes Hüllhäutchen, mit welchem das Globoid umgeben war. Auch die oft im Globoid enthaltenen Krystalle werden nun scharf sichtbar. Nach längerer Einwirkung verschwinden die Schichten mehr und mehr, und die noch vorhandene äusserste Membran des Aleuronkornes umgiebt nun eine homogene Masse, bis schliesslich auch diese Membran gelöst wird, und jede Spur des Aleuronkornes verschwunden ist.

Die vorher mit 2procentigem Sublimatalkohol behandelten Globoide werden hierdurch in phosphorsaurem Natrium nicht unlöslich. Es ist mir gelungen, aus einem so behandelten Aleuronkorn das Globoid vollständig durch 24stündiges Einlegen herauszulösen, während die übrigen Bestandtheile: Grundsubstanz [1]), Krystalloid und Membran völlig intact blieben. Dass in der That ein solches Herauslösen stattgefunden hatte, ging dadurch unzweifelhaft hervor, dass nun das Aleuronkorn nach Behandlung mit verdünnter Kalilauge oder Kalkwasser spurlos gelöst wurde, während sonst an der Stelle eines jeden Kornes das kugelige Globoid zurückblieb.

Andere Reagentien, wie salpetersaures Silber, Osmiumsäure etc., sind von wenig charakteristischer Einwirkung auf die Globoide.

1) Bezüglich des Verhaltens der mit Sublimatalkohol behandelten Grundsubstanz gegen Natriumphosphat vergleiche p. 75.

c) Die Krystalle.

Die in den Aleuronkörnern eingeschlossenen Krystalle, welche sich schon beim blossen Anblick durch ihr Lichtbrechungsvermögen als solche documentiren, bestehen stets aus oxalsaurem Kalk. Diejenigen, die in Form von Stäbchen, Rhomboëdern, Hendyoëdern etc. vorkommen, bestehen in ihrer ganzen Masse aus dieser Verbindung, solche Krystalle aber von der Gestalt morgensternförmiger Drusen, welche sich hauptsächlich als Einschlüsse der Aleuronkörner vorfinden, besitzen ausserdem eine zarte plasmatische Membran und auch gewöhnlich einen aus Proteïnsubstanzen bestehenden, schwach gelblich gefärbten Kern (Taf. III, Fig. 8a, b). Da die Drusen nicht immer eine Kugelgestalt besitzen, sondern häufig Cylinderschnitte darstellen, ist dieser Kern nicht zu übersehen. Die von Pfeffer[1]) vorgeschlagene Reaction mit Jodsalzsäure zur Sichtbarmachung des Proteïnkernes führt zu keinem positiven Ergebniss, da der ganze Krystall der Salzsäure zum Opfer fällt, und der Proteïnkern in die entstehende Strömung mit hineingerissen wird.

Es ist mir in anderer Weise gelungen, mich von der Existenz des Kernes zu überzeugen. Wenn man allmählich, nachdem Grundsubstanz und, wenn nöthig, das Krystalloid durch verdünnte Kalilauge gelöst sind, eine gesättigte Lösung von Natriumphosphat auf die Krystalldruse einwirken lässt, so sieht man zunächst, dass sich die Membran des Krystalls deutlich von dem Rande der eigentlichen Krystallsubstanz abhebt, der Kern sich aber alsbald aufhellt und allmählich gelöst wird. Der Krystall besitzt nun ein lichthelles, centrales Loch (Taf. IV, Fig. 7). Auch die zwischen die Spalten und Strahlen eingebettete Grundsubstanz wird nach einiger Einwirkung gelöst, und wir erblicken nun das eigentliche Skelett des Krystalls. Bei fortgesetzter Einwirkung vermag indessen der Krystall selbst der lösenden Kraft des phosphorsauren Natriums nicht zu widerstehen. Auch Kalilauge[2]) wirkt nach einiger Zeit lösend auf Krystalle von oxalsaurem Kalk. — Solche Krystalldrusen sind nicht immer von der Grundsubstanz eines Aleuronkornes umschlossen, wir finden sie häufig

---

1) Pfeffer, a. a. O. p. 471.
2) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie p. 102.

frei im Zellinhalte liegen, dann aber gewöhnlich in isolirten Zellen. Beispiele dieser Art sind Tiglium officinale (Taf. IV, Fig. 9 u. 7), Oenanthe Phellandrium (Taf. III, Fig. 8b), Daucus Carota, Elettaria Cardamomum (Taf. IV, Fig. 1, in den stärkemehlführenden Zellen des Perisperms).

Sie unterscheiden sich in keiner Weise von den im Aleuronkorn vorhandenen. Auch die in Globoide eingebetteten Krystalle (Daucus [Taf. III, Fig. 14c], Vitis) zeigen dasselbe Verhalten.

Präparationsmethoden.

Zur Anstellung der vorstehend beschriebenen Reactionen der Aleuronkörner und ihrer Einschlüsse lasse ich nun eine Schilderung meiner Präparationsmethode folgen, welche mir in allen Fällen sichere Resultate lieferte.

Bei der Beobachtung eines Samendurchschnittes in Wasser werden wir mit Rücksicht auf die zerstörende Einwirkung des Wassers auf die Aleuronkörner unser Augenmerk vornehmlich auf die Lagerung derselben in der Zelle oder in bestimmten Zellpartieen etc. und auf ihre Begleiter: Fett, Stärkekörner, Krystalle etc. richten. Legt man einen solchen Schnitt in fettes Oel (am besten eignet sich hierzu Mandelöl), so erhalten wir zwar über die Umrisse des Aleuronkornes und über etwa vorhandene Krystalle oder Globoide, welche aus der homogenen Masse des Kornes als Vacuolen hervorleuchten (Taf. IV, Fig. 3, Hyoscyamus niger; Taf. III, Fig. 11, Carum Carvi; Taf. II, Fig. 13 und 20, Ricinus communis; Taf. IV, Fig. 9, Tiglium officinale in Oel liegend), den erwünschten Aufschluss. Allein da die Krystalloide innerhalb eines derartig eingebetteten Aleuronkornes niemals sichtbar sind, und die Klarheit der Bilder häufig zu wünschen übrig lässt, so ist diese vielfach empfohlene Methode wenig anwendbar. Einen vollkommenen Einblick in die Verhältnisse des Aleuronkornes gewinnen wir erst nach Entfernung des dieselben fast stets begleitenden fetten Oeles. Vollständig ölfreie Samen sind ausserordentlich selten (Pisum, Ervum, Phaseolus, Physostigma etc.). Zur Lösung dieses Oeles ist Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Aether, Benzol etc. vorgeschlagen worden, allein alle diese Substanzen bringen, wie mich zahlreiche in dieser Richtung angestellte Versuche mit den Aleuronkörnern von Ricinus, Linum, Arachis etc. lehrten, mehr oder minder

tief greifende Veränderungen im Aleuronkorn selbst hervor. Das ausschliesslich anwendbare Mittel zur Entfernung des fetten oder aetherischen Oeles bleibt absoluter Alkohol. Erst dann, wenn man sich überzeugt hat, dass sehr widerstandsfähige Aleuronkörner vorliegen, kann man dem Alkohol etwas Aether hinzufügen, wodurch etwa vorhandene krystallinische Fette leichter gelöst werden (Anamirta, Myristica etc.). Diese Entfettung erreichte ich in der Weise, dass ich eine grössere Anzahl von Schnitten in kleine, ca. 3 ccm fassende Fläschchen brachte, welche bis zur Hälfte mit absolutem Alkohol gefüllt waren, und alsdann 24 Stunden fest verkorkt stehen liess. Nach Verlauf dieser Zeit nahm ich mit Hilfe einer Präparirnadel die Schnitte heraus und konnte sie nun, ohne ein Zerstören befürchten zu müssen, unter Wasser beobachten. Wie schon oben erwähnt wurde, besitzt der absolute Alkohol die Eigenschaft, die Grundsubstanz zu härten und für einige Zeit gegen Wasser unempfindlich zu machen. Die normale Reactionsfähigkeit der Grundsubstanz wird indessen durch Wasseraufnahme sehr bald wieder hergestellt. Die in Sublimatalkohol macerirten Aleuronkörner zeigen dagegen ein durchaus anderes Verhalten; sie sind eben chemisch verändert und eignen sich nicht zur Anstellung von Reactionen.

Die in absolutem Alkohol macerirten Aleuronkörner kann man nun auch in aetherischen Oelen, rectificirtem Terpenthinöl, Citronenöl etc., beobachten; man muss allerdings berücksichtigen, dass diese Oele nach einiger Zeit lösend wirken.

Lässt man zu einem so behandelten, in Wasser liegenden Schnitte, den man zweckmässig mit Jodjodkalium tingirt, nun allmählich verdünnte Kalilauge, oder besser Kalkwasser, hinzufliessen, so bleiben nach Lösung der Grundsubstanz und etwaiger Krystalloide die Globoide allein zurück (Taf. IV, Fig. 8, Tiglium officinale).

Ueber das Vorhandensein der Krystalloide erhalten wir den besten Aufschluss durch Einlegen der Schnitte in eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natron und mehrstündige Aufbewahrung derartig beschickter Objectträger in der feuchten Kammer. Die Krystalloide bleiben nach erfolgter Lösung der Grundsubstanz, Globoide und Krystalle ungelöst zurück und können dann unschwer als solche charakterisirt werden.

Als Einlegemittel solcher in absolutem Alkohol macerirten

Schnitte kann man Glycerin nicht verwenden, da selbst ein wasserfreies Präparat nach einiger Zeit stets lösend auf die Grundsubstanz und Krystalloide einwirkt. Man bedient sich am besten des fetten Oeles, welches eine Spur Jod gelöst enthält. Mit dem Einschliessen wartet man so lange, bis das Jod aus dem, das Präparat umgebenden Oele verdunstet ist; das Bild gewinnt dadurch an Helligkeit, während die Aleuronkörner das Jod in sich aufspeichern und nun scharf sichtbar werden. Da die Krystalloide in grösserem Maasse die Fähigkeit besitzen, Jod einzulagern als die Grundsubstanz, so treten nach einiger Zeit auch ihre Umrisse, die in reinem Oel niemals sichtbar sind, mehr oder weniger scharf hervor. Die Globoide erscheinen stets als helle, farblose Kugeln innerhalb der tief gelb gefärbten Grundsubstanz. — Ich habe gefunden, dass diese Präparate von guter Haltbarkeit sind, wenn man die Deckgläschen vor dem Lacküberzug mit einem Wachsrand versieht.

II.

Vergleichende Untersuchung der morphologischen Verhältnisse der Aleuronkörner nach Pflanzenfamilien.

Die bisherige morphologische Betrachtung der Aleuronkörner hat sich auf die äussere Form, auf das Vorhandensein von Einschlüssen und deren Gruppirung zu einander beschränkt und hat ergeben, dass im Vergleich zu anderen geformten Reservestoffen die Aleuronkörner eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit dieser Verhältnisse darbieten. Die Stabilität ihrer Formen bei ein und derselben Pflanze, ihre Aehnlichkeit innerhalb derselben Familie verleihen ihnen einen hohen diagnostischen Werth, der aber erst dann zur Geltung kommen kann, wenn wir die für die einzelnen Pflanzenfamilien charakteristischen Typen der Aleuronkörner kennen.

In Folgendem habe ich es versucht, die Aleuronkörner nach Art ihrer Einschlüsse und ihres Vorkommens in bestimmte Gruppen einzutheilen, welche ihre Classificirung ermöglichen sollen. Innerhalb dieser Gruppen gewähren die Grössenverhältnisse der Aleuronkörner

und diejenigen der Einschlüsse, das chemische Verhalten der Grundsubstanz etc. immer noch Anhaltspunkte genug, um ein weiteres Bestimmen zu ermöglichen. Die Namen der einzelnen Typen habe ich nach der Familie gewählt, welche vorzugsweise Repräsentanten der betreffenden Gruppe liefert. Die Aleuronkörner lassen sich von dem einschlussfreien, unscheinbaren bis zu dem durch die Schönheit seiner Formen und seiner Einschlüsse ausgezeichneten aufsteigend nach folgenden Typen classificiren:

1. Gramineentypus,
2. Leguminosentypus,
3. Umbelliferentypus,
4. Euphorbiaceentypus.

1. Der Gramineentypus.

Bei den Gramineen bildet zwar das Stärkemehl den hauptsächlichsten Reservestoff, allein auch Aleuronkörner sind in ziemlich bedeutender Anzahl vorhanden, viel mehr als bisher in der Litteratur betont worden ist. Wir können bei jeder Gramineenfrucht deutlich zwei Kategorieen von Aleuronkörnern unterscheiden: diejenigen, welche den Inhaltsbestandtheil der sogenannten Kleberzellen bilden, und diejenigen, welche in allen Theilen des Embryos enthalten sind. Alle übrigen Gewebetheile der Gramineenfrucht sind von Stärkekörnern dicht erfüllt.

Die äusserste Zellschicht des Endosperms, welche aus isodiametrischen Zellen mit stark verdickten Wänden besteht, enthält kugelig-polyëdrische Körner von 1—2 Mik. Durchmesser, welche zu einem die ganze Zelle ausfüllenden Ballen zusammengeklebt sind. Diese ausserordentlich regelmässig gestalteten Körner sind von allen Autoren: Hartig[1]), Maschke[2]), Johannsen[3]), als Aleuronkörner bezeichnet worden. Wie weit sie indessen verdienen zu diesen Körpern gezählt zu werden, möchte ich durch die Beschreibung ihres Verhaltens gegen einige Reagentien näher erörtern.

---

1) Vergl. p. 62.
2) Vergl. p. 63.
3) W. Johannsen, Entwickelung und Constitution des Endosperms der Gerste, Zeitschr. f. d. ges. Brauwesen, 1884.

Bei der Betrachtung eines frischen Schnittes in Wasser sieht man zunächst eine starke Streckung der Zellwände, wodurch der undeutlich granulirte Inhaltskörper, der dieser Ausdehnung nicht folgen kann, von der Wandung losgelöst wird und contrahirt erscheint. Unter Oel betrachtet erfüllt dieser Körper die Zelle vollständig und liegt den Wandungen dicht an, während die Zellwände schwach wellig gebogen sind. Durch die Einwirkung des Wassers tritt die Körnelung des Inhaltskörpers zuerst deutlicher hervor, verschwindet aber bald vollständig, und der ganze Klumpen besitzt nun ein graugelbes Aussehen und unbestimmbare Structur. Eine concentrirte Lösung von phosphorsaurem Natrium wirkt nur sehr schwach auf diesen Körper ein, sehr energisch dagegen Salzsäure. Durch dieses Reagenz wird der Zellinhalt nach kurzer Zeit in eine ansehnliche Menge verschieden grosser, kugeliger Körper verwandelt, welche irrthümlich für die Globoide dieser Aleuronkörner gehalten worden sind. Durch Osmiumsäure oder concentrirte Schwefelsäure lässt sich aber leicht beweisen, dass diese während der Beobachtung entstehenden Körper Oeltröpfchen sind. Da ihre Gegenwart aber die Natur des vorher vorhandenen Zellinhaltes nicht genau feststellen lässt, so müssen wir dieselben durch Maceration der Schnitte in absolutem Alkohol zu entfernen suchen. In einem derartig behandelten Schnitte sieht man, dass die einzelnen Körnchen in ein zierliches Plasmanetz eingebettet sind, dessen Maschengewebe scharf hervortritt (Taf. III, Fig. 1, Triticum vulgare). Die Einwirkung des Wassers auf diese regelmässig polyëdrischen, fast gleich grossen Körnchen, welche theils eine homogene Beschaffenheit, theils Sprünge und Risse zeigen, ist eine sehr langsame. Bei vielen bemerkt man zwar eine concentrische Schichtung, aber auch nach tagelangem Aufbewahren in der feuchten Kammer tritt nur unvollständige Lösung ein. Der helle durchsichtige Kern ist von einem mattgrauen Ringe umgeben, welcher wahrscheinlich die in Wasser völlig unlösliche Membran des Kornes darstellt (Taf. III, Fig. 3). Eine gesättigte Lösung von phosphorsaurem Natrium löst schon nach mehrstündiger Einwirkung die Körnchen vollständig und lässt allein das zierliche, nun schwach grau gefärbte Maschennetz zurück (Taf. III, Fig. 2). Verdünnte Kalilauge dagegen, welche sonst die Aleuronkörner ohne jeden Rückstand löst, wirkt zuerst stark quellend. Der Ballen wird

weit über die Zellwandungen ausgedehnt, und die nun durch Quellung kugeligen Körner scheinen aus ihren Lagern hervorgehoben zu werden, so dass sie jetzt regellos über einander liegen. Allmählich schreitet die Lösung von aussen nach innen vor. Der Kern ist am längsten widerstandsfähig, endlich verschwindet auch dieser, und es hinterbleibt ein mattgrauer vergänglicher Fleck von der Grösse des vorhanden gewesenen Kornes. Fügt man nun verdünnte Essigsäure hinzu, so wird das durch das starke Aufquellen den Blicken entschwundene Plasmanetz plötzlich auf seine früheren Dimensionen contrahirt und wieder scharf sichtbar. Kalkwasser, welches sonst stets die Grundsubstanz der Aleuronkörner löst, ist selbst nach längerer Zeit ohne Einwirkung, wenigstens geht dieselbe nicht über die des Wassers hinaus.

Das Plasmanetz ist nach vorheriger Tinction mit Jodjodkalium in concentrirter Schwefelsäure ohne Blaufärbung löslich.

Vollständig analog verhält sich der Inhalt der sog. Kleberzellen bei einigen Cruciferen (Brassica, Sinapis).

Aus dem abweichenden Verhalten dieser stets einschlussfreien Körnchen gegen verdünnte Kalilauge und Kalkwasser geht hervor, dass wir es hier nicht mit wirklichen Aleuronkörnern, sondern mit ausserordentlich ähnlichen Gebilden zu thun haben, welche in einer mit fettem Oel in molecularer Mischung befindlichen Grundmasse eingebettet sind.

Diese hervorgehobenen Unterschiede treten noch mehr zu Tage, wenn wir uns nun der Betrachtung der im Scutellum und den im Embryo vorhandenen Aleuronkörnern zuwenden. Alle von mir untersuchten Gramineenfrüchte führen in den Zellen dieser ölreichen Gewebetheile eine grosse Anzahl 2—3 Mik. grosser, kugeliger, normaler Aleuronkörner. Ihre Grundsubstanz ist leicht in Wasser löslich, so dass die ausserordentlich kleinen, sehr zahlreichen Globoide, welche sie als Einschlüsse führen, beim Hinzubringen von Wasser in schwingende Bewegung gerathen (Taf. III, Fig. 10, Triticum vulgare; Fig. 6, Secale cereale). Nur Zea Mais macht eine Ausnahme. Hier finden wir im Scutellum und Embryo zerstreute Stärkekörnchen und Aleuronkörner, welche sich von denen der Kleberschicht nicht unterscheiden (Taf. III, Fig. 9a—f, Stärkekörner).

Die Thatsache, dass das Scutellum fast ausschliesslich Aleuron

führt, lässt dasselbe nicht nur als ein Saugorgan, sondern auch als ein Reservematerial speicherndes Gewebe erscheinen. In der That ist es gelungen, nach Abtrennung des Endosperms Pflänzchen zu erziehen, welche allerdings nicht die kräftige Entwickelung normaler Gramineenkeimlinge zeigten. — Die den Gramineen nahestehende Familie der Cyperaceen zeigt ähnliche Verhältnisse. Die ölreichen Zellen des verdickten Embryos und diejenigen der denselben umschliessenden Cotyledonarscheide, welche gegen das Endosperm scharf differenzirt ist, enthalten zahlreiche, kleine, kugelige Aleuronkörner.

Jedes Korn besteht aus einem grossen Globoid und aus einer nur schwach entwickelten Grundsubstanz. In den Zellen des Endosperms, welches von keiner besonders differenzirten Kleberschicht umgeben ist, findet sich dagegen ein die Stärkekörner an Grösse weit überragender, unregelmässig-polyëdrischer, homogener Körper, der durch Jodjodkalium tief gelb gefärbt wird und in verdünnter Kalilauge leicht löslich, in phosphorsaurem Natron dagegen unlöslich ist (Taf. III, Fig. 4a, b, c). Er zeigt weder eine scharf differenzirte Membran, noch Einschlüsse, so dass er wahrscheinlich in die Kategorie der Krystalloide gehört.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass bei den Gramineen und Cyperaceen nur die aleuronführenden Zellen ölhaltig sind. — Wenn wir den Inhalt der Kleberzellen auch als Aleuronkörner betrachten, dann können wir den Gramineentypus kurz folgendermassen präcisiren: Die Aleuronkörner sind auf bestimmte Gewebetheile der Frucht beschränkt, sie sind klein, einschlussfrei oder führen zahlreiche, sehr kleine Globoide.

2. Der Leguminosentypus.

Bei der grossen Mehrzahl der Leguminosen finden wir die Zellen der Keimblätter dicht von Aleuronkörnern erfüllt. Sie besitzen in den äusseren Zellreihen fast regelmässige Kugelgestalt, in den inneren dagegen sind sie durch gegenseitigen Druck unregelmässig eckig und kantig. Ihre Grundsubstanz ist in den meisten Fällen leicht in Wasser löslich oder gegen die Einwirkung desselben mehr oder weniger widerstandsfähig. Sie enthalten als Einschlüsse zahlreiche kleine Globoide. Nur bei Lupinus luteus sind Krystalle aufgefunden

worden. Diese einfache Form der Aleuronkörner mit bald grösseren, bald kleineren Globoiden finden wir ausser bei den Papilionaceen (Taf. IV, Fig. 4, Lupinus polyphyllus) und Caesalpiniaceen bei den meisten Pflanzenfamilien: Cruciferen (Taf. III, Fig. 18, Sinapis alba, in Wasser betrachtet), Liliaceen, Iridaceen (Taf. III, Fig. 19, Crocus), Melanthieen, Borragineen, Tiliaceen (Taf. III, Fig. 20, Tilia), Apocyneen, vielen Palmen, Strychnaceen, Ranunculaceen (Taf. III, Fig. 12, Nigella damascena) und einigen Compositen.

Bei den stärkeführenden Papilionaceen umgeben die in ein Plasmanetz gelagerten polyëdrischen Aleuronkörner die grossen Stärkekörner: Phaseolus, Vicia, Mucuna (Taf. III, Fig. 13), Ervum, Cicer, oder sie sind regellos mit gleich grossen Stärkekörnern vergesellschaftet: Arachis (Taf. IV, Fig. 5), dann aber globoidführend, oder überragen sogar die Stärkekörner an Grösse: Sophora. Mit Ausnahme von Arachis enthalten die stärkeführenden Papilionaceen nur völlig einschlussfreie Aleuronkörner, so dass die Behauptung Pfeffer's, dass Globoide in jedem Samen vorhanden sind, nicht aufrecht zu halten ist.

Die endospermhaltigen Leguminosen: Cassia, Ceratonia, Cercis, Anthyllis, Trigonella, Genista u. a. m. besitzen in ihrer sogenannten Kleberschicht polyëdrische, einschlussfreie Aleuronkörner, welche in ein ölreiches Plasmanetz gebettet sind (Taf. III, Fig. 16, Trigonella, Kleberzellen; a nach Maceration in absolutem Alkohol in phosphorsaurem Natrium, b eine solche in Wasser und c eine vorher nicht entölte Zelle in Wasser beobachtet). Durch ihre leichte Löslichkeit in verdünnter Kalilauge sind sie von denen der Gramineen leicht zu unterscheiden.

Auch die Aleuronkörner der Cotylen dieser Leguminosen sind in ein plasmatisches Gewebe eingebettet, welches durch Einlegen der Schnitte in phosphorsaures Natron (Taf. III, Fig. 17, Trigonella, a Aleuronkörner, b Plasmanetz), oder durch successive Behandlung derselben mit Kalilauge und verdünnter Essigsäure sichtbar gemacht werden kann.

Der Leguminosentypus umschliesst also Aleuronkörner von 5 bis 15 Mik. Durchmesser, welche wenige grössere oder zahlreiche kleine Globoide enthalten.

Die Aleuronkörner der stärkeführenden Leguminosen und diejenigen der Kleberschicht der endospermhaltigen sind einschlussfrei.

3. Der Umbelliferentypus.

Die Aleuronkörner der Umbelliferen besitzen schon eine viel höhere Organisation. Sie sind niemals einschlussfrei, ihre Globoide erreichen schon eine ziemliche Grösse, und hier begegnen uns zum ersten Mal zierlich gebaute Krystalldrusen als Inhaltsbestandtheile. — Wir finden bei den Umbelliferen stets zwei Arten von Aleuronkörnern: globoidführende und krystallführende. Sie besitzen meistens eine Grösse von 5 Mik., erreichen aber auch 9—11 Mik. und sind stets zahlreich in jeder Zelle des ausgedehnten Endosperms vorhanden. Ihre Gestalt ist fast regelmässig kugelig. Die Hüllmasse, bei den krystallführenden Aleuronkörnern gewöhnlich stärker entwickelt, als bei den globoidführenden, ist in allen Fällen leicht in Wasser löslich, bei vielen (Carum, Daucus, Foeniculum) sogar so plötzlich, dass wir sie bei der Beobachtung in Wasser niemals mehr vorfinden. Die regelmässig kugeligen, homogenen Globoide, gewöhnlich ein wenig excentrisch gelagert (Taf. III, Fig. 11, Carum), sind fast stets in der Einzahl, selten in der Mehrzahl im Korn vorhanden; zuweilen umschliessen sie noch einen Krystall (Taf. III, Fig. 14, Daucus). Die Krystalle, welche sich als Einschlüsse vorfinden, sind morgensternförmige Drusen. Sie erscheinen wie dicke Ringe von strahligem Bau, deren centraler Theil entweder von einer hell leuchtenden Scheibe oder von einem gelb gefärbten Kern (Proteïnkern) gebildet wird. Ihre Peripherie ist stets fein zackig, und gewöhnlich sind sie noch von einer äusserst zarten Membran umgeben. Selten finden wir wohlausgebildete Rhomboëder als Einschlüsse (Coriander). Die Krystalle sind ebenfalls in der Einzahl, selten zu 2—3 in einem Korn vorhanden. Charakteristisch für die Umbelliferen ist die Beschränkung dieser beiden Arten von Aleuronkörnern auf bestimmte Zellen oder Zellreihen, eine strenge Localisirung, welche selten unterbrochen wird. Meist findet man in 5—10 Zellreihen der Randpartie globoidführende, in den centralen Theilen krystallführende. Beide Arten sind entweder in gleicher Zahl: Anethum, Carum, Molospermum, Oenanthe, Pastinaca, Peucedanum,

Silaus, oder die globoidführenden in der Mehrzahl: Petroselinum, Cicuta, Scandix, oder endlich die krystallführenden in der Mehrzahl vorhanden: Coriandrum, Daucus, Foeniculum, Pimpinella, Sium.

In einigen globoidführenden Aleuronkörnern finden sich auch ein bis zwei Krystalloide als Einschlüsse: Aethusa, Coriandrum, Oenanthe, jedoch sind diese Körner sehr selten, oft nur zu 3—4 in jedem Querschnitt vorhanden. — Grosse, freiliegende, morgensternförmige Krystalldrusen mit Proteïnkern von 5—7,5 Mik. Durchmesser fand ich bei Oenanthe und Daucus.

Nach diesem Typus gebaut sind die Aleuronkörner von Vitis, diejenigen vieler Compositen und einiger Ranunculaceen, jedoch finden wir bei diesen Familien die Localisirung nicht so streng durchgeführt, wie bei den Umbelliferen, auch haben die Krystalle meist Stäbchenform.

Zu dem Umbelliferentypus würden also Aleuronkörner gehören von 5—10 Mik. Durchmesser, welche entweder Globoide oder Krystalle enthalten, jede Art nur auf bestimmte Zellen beschränkt.

4. Der Euphorbiaceentypus.

Zu diesem Typus zählen wir die Aleuronkörner höchster Ausbildung. Von den Einschlüssen: Globoiden, Krystallen und Krystalloiden dominiren die letzteren durch ihre Grösse und die Schönheit ihrer Formen, welche oft in keiner Weise den Krystallen anorganischer Körper nachstehen. Von den kleinen, fast kugeligen Krystalloiden (Taf. II, Fig. 21, Ficus), welche wir oft für Globoide zu halten geneigt sind, aufsteigend bis zu den 15—30 Mik. grossen, alle Krystallformen nachahmenden Krystalloiden (Myristica surinamensis[1]), Bertholletia, Elaeis etc.) finden wir eine lange Reihe mannigfaltiger Uebergänge. — Selten ist nur ein Krystalloid als Einschluss vorhanden (Taf. II, Fig. 1, 2, Linum; Taf. II, Fig. 12, Ricinus; Taf. IV, Fig. 2, Hyoscyamus); gewöhnlich sind es deren mehrere (Taf. IV, Fig. 6, Croton). In allen Fällen aber sind sie von Globoiden begleitet; nur die Kleinkörner von Ricinus und die in der Randschicht

---

1) Tschirch, a. a. O. p. 45.

der Cotylen von Linum usitatissimum befindlichen Aleuronkörner enthalten ausschliesslich Krystalloide. Freiliegende Krystalloide fand ich in der sog. Copra von Cocos nucifera.

Die Globoide sind entweder klein, dann aber zahlreich um und zwischen den Krystalloiden befindlich (Croton, Elaeis etc.), oder in der Mehrzahl der Fälle finden wir ein grosses und neben diesen kleinere, alle Abstufungen der Grösse zeigenden Globoide. Gleich grosse, kranzförmig um das Krystalloid gelagerte Globoide besitzen Ficus (Taf. II, Fig. 21) und die Cucurbitaceen. Der Fall, dass nur ein Krystalloid und dann ein excentrisch gelagertes Globoid vorhanden ist, gehört immerhin zu den selteneren (Solanaceen). Die Globoide sind hier wie in allen anderen Typen fast regelmässig kugelförmig, sehr selten finden wir sie traubig (Bertholletia).

Die Grundsubstanz, welche bei dieser Art von Aleuronkörnern die Bezeichnung Hüllmasse am treffendsten verdient, ist von nur geringer Ausdehnung. Bei vielen (Elaeis, Areca, Myristica surinamensis etc.) ist sie fast ganz geschwunden, während sie bei anderen (Ricinus, Solanaceen, Cannabis, Linum) auf den zwischen Globoiden und Krystalloiden entstehenden, von der Membran begrenzten Raum beschränkt ist. Sie füllt die entstehenden Lücken vollständig aus, so dass wir bei Betrachtung der Aleuronkörner in Oel, in welchem, wie schon früher gezeigt wurde, die Krystalloide niemals, die Globoide nur als Vacuolen sichtbar sind, nicht ahnen, welche regelmässig geformten Einschlüsse noch in diesen oft barok verzerrten Körpern vorhanden sind. — In Wasser ist die Grundsubstanz entweder sehr leicht löslich (Croton, Ricinus, Solanaceen etc.), oder von mehr oder minder grosser Beständigkeit (Linum, Rosa, Cannabis), so dass bei der Betrachtung der Schnitte in Wasser nicht immer die Form der Krystalloide klar zu Tage tritt, vielmehr ist allein, wie ich schon oben ausgeführt habe, durch längere Einwirkung von phosphorsaurem Natrium der wirkliche Umriss der Krystalloide zu erkennen.

Krystalle als Einschlüsse gehören zu den Seltenheiten. Sie befinden sich hier nicht in der Grundsubstanz, sondern gewöhnlich in den Globoiden: Myristica surinamensis (Tschirch), Aethusa Cynapium etc.

Freiliegende Krystalldrusen als alleinigen Inhaltsbestandtheil einer Zelle fand ich bei Tiglium officinale (Taf. IV, Fig. 9 u. 7).

Nach diesem Typus gebaut sind die Aleuronkörner zahlreicher Familien: Cupressineen, Abietineen, Palmen, Artocarpeen, Cannabineen, Myristicaceen, Linaceen, Aurantiaceen, Euphorbiaceen, Roseen, Solanaceen, Labiaten, Cucurbitaceen etc.

Der Euphorbiaceentypus ist also charakterisirt durch Aleuronkörner von 5 bis 60 Mik. Durchmesser, welche als Einschlüsse Krystalloide und Globoide stets, Krystalle sehr selten enthalten.

Anhangsweise an diese vorstehend gekennzeichneten Typen möchte ich noch die sogenannten Solitäre erwähnen. Mit diesem Namen bezeichnet man ein oder zwei durch ihre Grösse und die Grösse ihrer Einschlüsse hervorragende Aleuronkörner, welche in derselben Zelle noch von vielen kleinen begleitet sind: Vitis, Bertholletia, Silybum, Amygdalus etc.

III.

Untersuchungen über das Verhalten der Aleuronkörner beim Einquellen der Samen in Wasser.

Es ist bekannt, dass die Samen durch ein mehrstündiges Einquellen in Wasser in den Stand gesetzt werden, ihren zum Keimen nothwendigen Wassergehalt in kurzer Zeit aufzunehmen. Solche Samen gelangen schneller zur Keimung wie die vorher nicht eingequollenen.

Wie lange ein derartiges Einquellen andauern und wie oft es durch Austrocknen unterbrochen werden darf, selbst wenn die Keimung schon eingetreten ist, geht aus einigen Versuchen hervor, welche Nowoczek[1]) angestellt hat. Derselbe fand, dass sich die Samen in dieser Beziehung sehr verschieden verhalten. So werden z. B. vom Weizen nach dreimaligem Austrocknen noch 57 %, vom Hafer 77 %, vom Lein 30 %, von der Erbse 3 % der Samen keimfähig, nach siebenmaligem Austrocknen vom Weizen noch 1 %, vom Hafer noch 8 % etc.

1) Ueber die Widerstandsfähigkeil junger Keimlinge. Wissensch. pract. Untersuch., herausgegeben von F. Haberlandt, I. Bd., p. 122 ff.

Wenn wir nun die leichte Angreifbarkeit der meisten Aleuronkörner durch Wasser in Betracht ziehen, so liegt die Vermuthung nahe, dass das allmähliche Erlöschen der Keimkraft der Samen beim wiederholten Einquellen in einer mehr oder minder vollständigen Lösung der Aleuronkörner zu suchen sei, da ja die Hauptmenge der Proteïnstoffe in den Aleuronkörnern enthalten ist. Zur Erörterung dieser Frage habe ich verschiedene Samen einer ein- bis mehrtägigen Einwirkung des Wassers ausgesetzt und die eingetretenen Veränderungen der Aleuronkörner einer eingehenden Betrachtung unterzogen.

Bezüglich der Präparation der Aleuronkörner gequollener Samen will ich nicht verfehlen darauf hinzuweisen, dass dieselbe Schwierigkeiten verursacht. Ich habe gefunden, dass die Schnitte am besten gelingen mit einer vorher mit sehr wenig Mandelöl bestrichenen Klinge, und dass man durch blosses Einlegen der Schnitte in aetherisches Oel (Citronenöl, Terpenthinöl etc.) einen genügenden Einblick in die Verhältnisse der Aleuronkörner gewinnt, zumal wenn man über die Beschaffenheit der Aleuronkörner der betreffenden Pflanze schon vorher orientirt ist. Will man indessen vorzugsweise die Veränderungen der Einschlüsse studiren, so führt hier die Maceration der Schnitte in absolutem Alkohol allein zum Ziel.

1. Sinapis alba.

Der weisse Senf besitzt in jeder Zelle der Keimblätter zahlreiche Aleuronkörner, von denen die kleinsten 2 Mik., die Mehrzahl derselben dagegen 7,5 Mik. und die grössten 12 Mik. im grössten Durchmesser erreichen. Ihre Gestalt ist unregelmässig polyëdrisch, hervorgerufen sowohl durch gegenseitigen Druck, als auch durch den Druck der Zellwände, denen sie sich vollständig anschmiegen. Die schwach körnige Grundsubstanz ist wenig gelb gefärbt, wodurch die zarte Membran der Hüllhäute scharf hervortritt (Taf. III, Fig. 18). Die ausserordentlich zahlreichen, nur 0,5 bis 1,0 Mik. grossen Globoide sind gleichmässig durch die Masse des Kornes vertheilt und erscheinen nach einiger Einwirkung des Wassers als dunkle Punkte (Taf. III, Fig. 18). Wasser löst die Grundsubstanz nach kurzer Zeit vollständig, die Globoide gerathen dann innerhalb der wider-

standsfähigen Membran des Aleuronkornes in Molecularbewegung. Die Aleuronkörner der sogenannten Kleberschicht sind polyëdrische, die Zellen vollständig ausfüllende Körperchen, welche genau dasselbe Verhalten zeigen wie diejenigen der Gramineen (vergl. p. 85 ff.).

Nach zwölfstündigem Einquellen der Samen in Wasser war das Maximum der Quellbarkeit erreicht, und dieselben waren nun von einer starken Schleimhülle umgeben. Die Aleuronkörner zeigten ausser einer geringen Volumzunahme keine Veränderung.

Nach 24 Stunden waren die Aleuronkörner stark gequollen, die eckigen Formen waren abgerundet. Die Grundsubtanz war viel durchsichtiger geworden, so dass die Globoide schon im ersten Moment des Beobachtens sichtbar wurden.

Nach 48 Stunden waren die Conturen der Hüllmembran nur noch schwach bemerkbar, die Globoide traten noch schärfer hervor.

Das Einquellen wurde unter Erneuerung des Wassers noch weitere zwei Tage fortgesetzt, und nach dieser Zeit war wohl die Durchsichtigkeit der Grundsubstanz erhöht, ein bestimmter Theil derselben also durch Wasser herausgelöst worden, ein durch Lösung der Membran bedingter Zerfall der Körner war aber nirgends bemerkbar. Unter Oel betrachtet waren nun auch die Globoide sichtbar.

Lässt man derartig behandelte Samen trocknen, so erlangen zwar die Aleuronkörner ihre normale Grösse, aber ihre vorher glatte Oberfläche erscheint nun durch Einschrumpfung der Membran höckerig.

Nach allen Stadien dieses Einquellens waren die Samen keimungsfähig, entwickelten ein normales hypocotyles Glied und normale Cotylen.

Setzt man nun das Einquellen der Samen so lange fort, bis der die Samen umgebende Schleim zerstört ist, so zeigen auch zahlreiche Aleuronkörner eine tiefgreifende Veränderung. Die Grundsubstanz scheint fast gelöst zu sein, und die Membran ist so durchsichtig geworden, dass sie nur durch Hinzufliessenlassen von Essigsäure wieder hervortritt. Nur sehr wenige Aleuronkörner, namentlich die in der Randpartie der Cotylen gelegenen, waren vollständig zerstört, die Globoide befanden sich frei im Zellinhalt. Dagegen waren die in der Nähe der Procambiumstränge liegenden Zellschichten von Aleuron-

körnern bereits vollständig entblösst. Durch Austrocknen dieser Samen kehren die gequollenen Aleuronkörner, wie vorher beschrieben, zur normalen Gestalt zurück, niemals aber werden die schon gelösten reconstruirt.

Die so behandelten Samen waren immer noch sämmtlich keimungsfähig und entwickelten, wenn auch ein verkürztes hypocotyles Glied, so doch normale Cotylen.

Selbst nach einem 7—8maligen Trocknen und Wiedereinquellen konnte ein Zerstören sämmtlicher Aleuronkörner nicht hervorgebracht werden. In den mittleren Zellpartieen der Cotylen blieben sie stets intact, so dass man vielfach noch die Conturen der Membranen erkennen konnte. — Die Aleuronkörner der Kleberschicht zeigten nicht die geringste Veränderung. — Die so behandelten Samen waren noch zu 50 % keimungsfähig.

Bei einer Anzahl von Samen entfernte ich die Schleimschicht durch Schütteln mit Glassplittern. Hierbei zeigte sich, dass die Einwirkung des Wassers in Folge der Ritzung der Samenhaut viel schneller erfolgte und schon nach 36 Stunden das Maximum erreicht hatte. In Betreff der Keimung trat die auffallende Erscheinung zu Tage, dass das Würzelchen nach dem Austritt aus dem Samen sich spiralig hin und her wand, da der Same der Klebkraft des Schleimes entbehrend im Boden keine Befestigung fand. Nach zwei bis drei Tagen war indessen diese Keimungsverzögerung wieder eingeholt, und die jungen Pflänzchen wurden normal entwickelt.

2. Lupinus angustifolius.

Jede Zelle aller Gewebetheile des Samens enthält zahlreiche, durch gegenseitigen Druck unregelmässig eckige, oft auch gelappte Aleuronkörner. Die meisten erreichen einen Durchmesser von 7,5 Mik., die kleinsten nur 1,5 Mik., die grössten dagegen 12 Mik. Die Oberfläche der immer scharf sichtbaren Hüllmembran zeigt häufig Schattirungen, welche aber bei der Betrachtung in Wasser alsbald verschwinden. Die Grundsubstanz ist fast homogen und wird von Wasser sehr leicht angegriffen. Durch die Einwirkung des Wassers bildet sich in jedem Aleuronkorn ein heller kreisförmiger Raum, welcher an Grösse zunimmt und häufig diejenige des Kornes

erreicht. Diese sogenannte Vacuole, welche auch für ein Globoid gehalten worden ist, ist jedoch kein leerer Raum, sondern enthält die durch Wasser in Lösung übergeführte Grundsubstanz. Jodjodkalium färbt die Vacuole ebenso wie den übrigen Theil der Grundsubstanz. Die in der Randpartie gelegenen, sehr kleinen Aleuronkörner sind einschlussfrei. Die übrigen enthalten entweder ein excentrisch gelegenes Globoid von 2—3 Mik. Durchmesser oder meistens sehr viele, ausserordentlich kleine Globoide. Eine grosse Anzahl der in den mittleren Zellpartieen der Cotylen befindlichen Aleuronkörner ist ebenfalls einschlussfrei.

Nach 12stündigem Einquellen hatten die Samen ihr Volumen fast um das Dreifache vermehrt, auch die Aleuronkörner waren stark gequollen und hatten durchweg Kugelgestalt angenommen. Ihr Verhalten gegen Wasser, Kalkwasser und phosphorsaures Natron war unverändert. Nach dem Aussäen auf feuchtem Flugsand waren sämmtliche Samen gekeimt.

Nach 24stündigem Einquellen war ein Beginn der Keimung schon dadurch bemerkbar, dass bei vielen Samen die Spitze der Radicula bereits sichtbar war, bei anderen wenigstens nach dem Ablösen der Samenhaut eine Entwickelung zeigte. Bei den Aleuronkörnern der Randpartie trat die Kugelgestalt nun noch mehr hervor, die Spannung der Membran war stärker und letztere so durchsichtig geworden, dass die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz deutlich zu sehen war. In vielen Zellen der inneren Schichten, namentlich in der Umgebung der Radicula und in der Radicula selbst, hatte bereits eine Lösung der Grundsubstanz stattgefunden, die Umrisse der Membran waren nur noch sehr schwach sichtbar, viele kleine Globoide sogar schon frei im Zellinhalt liegend.

Die Samen keimten normal.

Nach dreitägigem Einquellen wurden nun die Samen durch längeres Liegen an der Luft vollständig getrocknet, wodurch sie ihre frühere Gestalt wieder erhielten. Auch die Aleuronkörner wurden auf ihr früheres Volumen reducirt, allein die eigenthümlich durchsichtige Beschaffenheit der Grundsubstanz blieb unverändert bestehen, auch die Form behielt die erhaltene Abrundung bei. In denjenigen Zellen, deren Aleuronkörner vorher vollständig gelöst zu sein schienen, konnte man nun aber deutlich einen, wenn auch nur schwachen

Umriss der früheren Membranen erblicken. Die Aleuronkörner waren also noch nicht vollständig gelöst, sondern nur durch enorme Wasseraufnahme stark gequollen und dadurch wenig gegen den Zellinhalt differenzirt.

In den wieder eingequollenen Samen zeigten die Aleuronkörner nun aber eine tiefgreifende Deformation. Nur in der Randpartie waren noch einige in gequollenem Zustande von kugeliger Gestalt vorhanden, in allen übrigen Zellschichten waren sie entweder gelöst oder von einer grossen Vacuole bedeckt. Hin und wieder konnte man ein Globoid im Zellinhalte wahrnehmen.

Nach dem vollständigen Trocknen kehrten die gequollenen Zellwände nicht mehr auf ihre normalen Dimensionen zurück, die Aleuronkörner zeigten sich auch kaum verändert; selbst die gequollenen der Randpartie waren in diesem Zustand verblieben. Die Samen keimten nach dem Aussäen auf feuchten Flugsand sämmtlich, allein das hypocotyle Glied wurde nicht mehr in normaler Länge entwickelt, und die Pflänzchen starben frühzeitig ab.

Mit einer Anzahl von Samen wurde das Einquellen noch weiter fortgesetzt. Die Samen zeigten aber hierdurch nicht nur einen Zerfall der äusseren Samenhaut und eine Zerstörung der peripherischen Zellschichten der Cotylen, sondern auch ein Zurückgehen der Radicula. Die Aleuronkörner waren sämmtlich gelöst.

Die auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten nicht mehr.

3. Foeniculum officinale.

Die Aleuronkörner der Fenchelfrucht zeigen den charakteristischen Umbelliferentypus. Die Zellen des Endosperms enthalten theils globoid-, theils krystallführende Aleuronkörner, von denen die meisten 4,5—5,0 Mik., die kleinsten 1,0—1,5 Mik., die grössten 9 Mik. im Durchmesser erreichen. Die Aleuronkörner des Embryos zeichnen sich durch ausserordentliche Kleinheit aus. Die strenge Localisirung tritt scharf hervor. Die krystallführenden Aleuronkörner überwiegen die globoidführenden um ein Bedeutendes. Letztere sind in den centralen Zellpartieen des Endosperms nur spärlich, in den Randpartieen dagegen häufiger vorhanden. Die Globoide und Krystalle erreichen einen Durchmesser von 3 Mik., es finden sich indessen

auch solche von nur 1—2 Mik. Durchmesser. Vor den Aleuronkörnern der übrigen Umbelliferen zeichnen sich diejenigen des Fenchels dadurch aus, dass ihnen eine Grundsubstanz niemals fehlt, die Globoide niemals Krystalle als Einschlüsse enthalten, und dass weder frei im Zellinhalt liegende Krystalle, noch Aleuronkörner mit Krystalloiden vorhanden sind.

Jodjodkalium löst die Grundsubstanz leicht, Wasser dieselbe zwar langsam, aber vollständig.

Nach 12stündigem Einquellen war die Grundsubstanz der Aleuronkörner der Randpartie gelöst, schon bei der Beobachtung in Oel traten nun die frei gewordenen Globoide und Krystalle scharf hervor. Die übrigen Aleuronkörner waren zwar etwas gequollen, sonst aber unverändert. Die Samen waren zu 60 % keimfähig.

Nach 24stündigem Einquellen hatte sich die Lösung der Grundsubstanz über sämmtliche Aleuronkörner erstreckt, ja sogar die Hüllmembran war bei vielen nur schwer aufzufinden.

Die Globoide erschienen viel durchsichtiger, und die Krystalle hatten nicht nur ihren Proteïnkern eingebüsst, sondern auch die zwischen die Spalten eingedrungene Grundsubstanz war herausgelöst, so dass hier und da ein Krystall zerfallen war. Krystalle und Globoide lagen nun sämmtlich frei im körnigen Zellinhalt. Die Abscheidung der Oeltröpfchen vollzog sich bei den in Wasser liegenden Schnitten derartiger Samen viel schneller als bei solchen nicht gequollener Samen. Durch andauerndes Trocknen wurde die Grundsubstanz niemals zurückgebildet, nur hier und da wurde eine nicht gelöste Membran wieder sichtbar. Die Samen keimten zu 30 %, aber erst mehrere Tage später als die nicht gequollenen.

Durch dreitägiges Einquellen war eine weitere Veränderung der Einschlüsse nicht zu constatiren, Globoide und Krystalle waren durch Wasser nicht mehr angreifbar. Nach dem vollständigen Trocknen der Samen lagen die Einschlüsse frei im Zellinhalt. Grundsubstanz und Membran wurden niemals zurückgebildet. Bei sämmtlichen Samen war die Keimkraft erloschen.

4. Daucus Carota.

Die Aleuronkörner der Mohrrübenfrucht sind zu mehreren in jeder Zelle vorhanden und zeigen ebenfalls eine strenge Localisirung

(Taf. III, Fig. 14). Auch hier sind die krystallführenden Körner in überwiegender Anzahl vorhanden und die globoidführenden zum grössten Theil auf die Randpartie der Mericarpien beschränkt. Die Grundsubstanz beider Arten von Aleuronkörnern ist sehr spärlich entwickelt. Die meisten Aleuronkörner haben 3 Mik., die kleinsten nur 2 Mik., die grössten 5 Mik. im Durchmesser. Zwei bis drei Aleuronkörner ragen in jeder Zelle durch Grösse hervor. — Neben den Aleuronkörnern aber finden sich grosse, morgensternförmige Krystalldrusen von oxalsaurem Kalk mit schön ausgebildetem Proteïnkern und deutlicher Strahlenbildung. Eine Grundsubstanz ist bei diesen Krystallen nicht vorhanden; sie erreichen einen Durchmesser von 7,5 Mik. Zuweilen finden sich auch schön ausgebildete Rhomboëder von oxalsaurem Kalk, welche eine gleiche Grösse besitzen. Als besondere Eigenthümlichkeit der Aleuronkörner der Mohrrübenfrucht verdient hervorgehoben zu werden, dass viele Globoide noch Krystalle von oxalsaurem Kalk als Einschlüsse enthalten, diese Frucht also durch einen grossen Reichthum an oxalsaurem Kalk ausgezeichnet ist. Die Aleuronkörner aus den Früchten der wildwachsenden Pflanze unterscheiden sich dadurch von denen der cultivirten, dass bei ihnen die Grundsubstanz viel stärker entwickelt ist, und die freiliegenden Krystalle nicht in so grosser Anzahl vorhanden sind. — Die Grundsubstanz wird von Wasser sehr schnell gelöst.

Ein 12stündiges Einquellen genügte, um die Grundsubstanz fast sämmtlicher Aleuronkörner zu lösen, vermochte aber nicht irgend welche Einwirkung auf Krystalle oder Globoide hervorzubringen. Die Samen waren zu 90 Procent keimfähig.

Nach 24stündigem Einquellen hatten alle Krystalle ihren Proteïnkern eingebüsst und besassen nun ein hellleuchtendes centrales Loch. Viele Globoide zeigten concentrische Schichtung, und diejenigen, welche einen Krystall als Einschluss enthielten, hatten eine grössere Durchsichtigkeit erlangt, so dass der Krystall, welcher sonst erst beim Behandeln mit einer gesättigten Lösung von Natriumphosphat sichtbar wurde, schon beim Einlegen der Schnitte in Wasser hervortrat. — Die Samen waren zu 70 Procent gekeimt und entwickelten in derselben Zeit wie die nicht gequollenen das Keimpflänzchen.

Ein drei- bis viertägiges Einquellen brachte auf die Aleuron-

körner keine weitere Einwirkung hervor. Die Samen keimten noch zu 50 Procent. Die getrockneten und wiedereingequollenen hatten indessen ihre Keimkraft verloren.

5. Carum Carvi.

Auch bei den unregelmässig-kugeligen, zu mehreren in einer Zelle vorhandenen Aleuronkörnern der Mericarpien von Carum Carvi ist eine strenge Localisirung durchgeführt. Beide Arten von Aleuronkörnern sind indessen in gleicher Anzahl vorhanden, und es erreichen die meisten 3 Mik., die kleinsten 1 Mik. und die grössten 5 Mik. im Durchmesser (Taf. III, Fig. 11).

Die Grundsubstanz ist überall sehr deutlich entwickelt und wird von Wasser in kurzer Zeit gelöst.

Schon nach 12stündigem Einquellen nimmt die Durchsichtigkeit der Grundsubstanz derartig zu, dass auch beim Beobachten der Schnitte in Oel eine scharfe Differenzirung derselben gegen Globoid bezw. Krystall hervortritt.

Die Samen keimten zu 90 Procent.

Nach 24stündigem Einquellen findet sich schon hier und da in der Randpartie der Mericarpien ein freiliegender, von der Hüllmasse entblösster Krystall, dessen Proteïnkern aber noch intact ist. Die Conturen der Hüllmembran sind nur sehr schwach sichtbar. Bei den globoidführenden Aleuronkörnern war die Grundsubstanz noch vorhanden. Von den Samen keimten 90 Procent, und zwar entwickelten sich die Keimpflänzchen einen Tag früher als die nur zwölf Stunden gequollenen.

Nach dreitägigem Einquellen waren die Aleuronkörner der innersten Schichten der Mericarpien ausser der Durchsichtigkeit ihrer Grundsubstanz unverändert. Von den übrigen waren die krystallführenden vollständig ihrer Grundsubstanz und ihrer Membran beraubt, so dass die Krystalle, deren Proteïnkern herausgelöst war, frei im Zellinhalt lagen. Bei den globoidführenden war die Membran noch erhalten und lag wie ein Ring um den mattgrauen Kern. Hin und wieder fand sich auch ein im Zellinhalt liegendes Globoid.

Durch anhaltendes, vollständiges Trocknen wurde die ursprüngliche Gestalt der Aleuronkörner nicht wieder hergestellt.

Von den auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten 30 Procent.

Nach dem Wiedereinquellen der vollständig getrockneten Samen war die Membran der vorher unveränderten Aleuronkörner der Randpartie blasig aufgetrieben, die Globoide zeigten concentrische Schichtung, die Krystalle waren zum grossen Theil zerfallen.

Derartig behandelte Samen keimten nicht mehr.

6. Cucurbita Pepo.

Die Aleuronkörner des Kürbissamens sind zahlreich in jeder Zelle vorhanden. Sie besitzen eine fast regelmässige Kugelgestalt und erreichen eine Grösse von 4 Mik., die meisten indessen nur eine solche von 3 Mik. und die kleinsten nur 1 Mik. Die sehr zarte Membran umschliesst ein kugeliges homogenes Krystalloid, um welches zahlreiche, nur 1—1,5 Mik. grosse Globoide halbmondförmig gelagert sind. In der äussersten Zellreihe der Randpartie der Cotylen und in den Procambiumsträngen finden sich ausserordentlich kleine Aleuronkörner ohne Einschlüsse. Die sehr spärlich vorhandene Grundsubstanz ist gegen Wasser wenig widerstandsfähig.

Ein 6—12stündiges Einquellen selbst solcher Samen mit theilweise entfernter Schale brachte auf die Aleuronkörner keine Einwirkung hervor.

Erst nach 24stündigem Einquellen waren auch die Aleuronkörner gequollen, sonst aber noch völlig intact.

Auf feuchten Flugsand ausgesät keimten sämmtliche Samen.

Auch nach dreitägigem Einquellen waren die Aleuronkörner unverändert. Nur in der Region der bereits stark entwickelten Radicula war eine Deformation eingetreten. In successiven Schnitten durch diese Zellschichten waren alle Stadien der Lösung zu beobachten. Die entfernter liegenden waren bereits der Membran entkleidet, die Grundsubstanz war gelöst, Krystalloide und Globoide frei im körnigen Zellinhalt. Die der Radicula näher liegenden Aleuronkörner zeigten keinen Zusammenhang ihrer Einschlüsse mehr, ihre Krystalloide waren mit schwacher concentrischer Schichtung versehen. In der Radicula selbst und in den sie umgebenden

Schichten war bereits vollständige Lösung der Aleuronkörner eingetreten.

Durch ein vollständiges Trocknen der Samen wurde nun wohl die Keimung unterbrochen, aber die bereits in Lösung befindlichen Aleuronkörner nicht wieder in den ursprünglichen Zustand zurückgeführt.

Wurden die Samen nun wiederum in Wasser gelegt und alsdann ausgesät, so zeigte es sich, dass der Keimungsprocess nun viel später eintrat. Die Radicula blieb klein und entwickelte schon frühzeitig Nebenwurzeln. Die meisten dieser Pflänzchen gingen indessen nach kurzer Zeit ein; nur 10 Procent der Samen entwickelten sich zu lebensfähigen Keimpflänzchen. Bei den Aleuronkörnern solcher Samen, deren Keimkraft nach kurzer Zeit erloschen war, bemerkte ich kein Fortschreiten der Lösung. Die in Lösung befindlichen und bereits theilweise gelösten waren auf eine verhältnissmässig kleine Region beschränkt; alle übrigen, welche die Zellen der mächtigen Keimblätter erfüllten, waren unversehrt erhalten.

Setzt man nun das Einquellen der Samen noch länger fort, so beginnt alsbald durch Gährungsprocesse ein völliger Zerfall der Samen, womit dann allerdings die Grenze des Versuchs erreicht ist.

7. Ricinus communis.

Die Aleuronkörner der Ricinussamen gehören wohl zu denjenigen, welche bisher am meisten und eingehendsten untersucht worden sind. Durch ihre hervorragende Grösse, durch die Schönheit ihrer Krystalloide haben sie seit langem die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gelenkt. Eine ausführliche Beschreibung ihrer Zusammensetzung hat Pfeffer in seiner oft citirten Arbeit über die Proteïnkörner geliefert.

Wir finden in den meisten Zellen des grossen Endosperms 3—5, selten mehr Aleuronkörner, welche nach dem Euphorbiaceentypus (vergl. p. 90 ff.) gebaut sind. Sie besitzen entweder eine ellipsoidische oder eine mehr sich der Kugelform nähernde Gestalt, und es erreichen die meisten 8—10 Mik., die kleinsten 1—2 Mik., die grössten oft über 15 Mik. im Durchmesser. — Die Krystalloide sind von homogener Beschaffenheit und zeigen die Form regel-

mässiger Rhomboëder, Octaëder etc. Ihr Durchmesser beträgt 7,5 bis 10 Mik., oft aber auch nur 3—5 Mik. Die Lagerung der Globoide zu den Krystalloiden ist durch mannigfaltige Abwechselung ausgezeichnet. Gewöhnlich finden wir 1—2 Krystalloide von einem Halbkreis von Globoiden umgeben. Von letzteren ist das mittelste das grösste, die andern nehmen allmählich nach rechts und links an Grösse ab. Der Durchmesser der Globoide beträgt 3—4 Mik., bei den kleinsten indessen nur 1—2 Mik.

Die sehr kleinen Aleuronkörner der Randpartie des Endosperms enthalten nur ein Krystalloid als Einschluss, die ebenfalls nur 1—2 Mik. grossen der Radicula und der Cotylen jedoch beiderlei Einschlüsse. Niemals sind in den Aleuronkörnern von Ricinus Krystalle von oxalsaurem Kalk vorhanden. — In der meist von Pilzhyphen durchwucherten Caruncula finden sich keine Aleuronkörner, sondern in den meisten Zellen kleine rundliche Körnchen von Amylodextrin.

Nach 12stündigem Einquellen der Samen war der Zellinhalt trübe und emulsionsartig geworden. Die Aleuronkörner zeigten jetzt eine glatte Oberfläche und hatten sich mehr der Kugelgestalt genähert. Das Verhalten der Grundsubstanz gegen Wasser war unverändert.

Es keimten 80 Procent der Samen.

Nach 24stündigem Einquellen hatten die Aleuronkörner ihr Volumen noch mehr vergrössert. Es hatten jetzt die meisten einen Durchmesser von 15 Mik. Die Hüllmembran war nun in Folge der stark gequollenen Grundsubstanz straff gespannt. Letztere war gegen Wasser nun ausserordentlich empfindlich und war darin ebenso wie die Membran fast momentan löslich, so dass man bei der directen Beobachtung der Schnitte in Wasser zu der Annahme gelangen konnte, sie sei überhaupt nicht mehr vorhanden gewesen. Die in absolutem Alkohol macerirten und dann in Oel betrachteten Schnitte zeigten jedoch das wahre Bild der eingetretenen Veränderungen. Durch das Einlegen der Samen in Wasser war die Grundsubstanz so durchsichtig geworden, dass nun auch die Krystalloide in Oel sichtbar wurden. — Anders verhielten sich die Aleuronkörner in der Umgebung der Radicula. Hier waren bereits alle Stadien der Lösung

eingetreten, ein sicheres Anzeichen, dass der Keimungsprocess bereits begonnen hatte.

Von diesen Samen keimten nur noch 50 Procent.

Nach einem drei- bis viertägigen Einquellen war nun aber, von aussen nach innen fortschreitend, im Endosperm eine Zerstörung der Aleuronkörner sichtbar. Hüllmembran und bei den meisten auch die Grundsubstanz waren gelöst, zahlreiche Krystalloide und Globoide befanden sich frei im Zellinhalt. In dem überwiegenden centralen Theil des Endosperms waren die Aleuronkörner nur gequollen, sonst unversehrt. Ein directes Betrachten der Schnitte in Oel stellte dies unzweifelhaft fest.

Die so behandelten Samen, deren Aleuronkörner in der Randpartie des Endosperms zum Theil in Lösung übergegangen waren, hatten ihre Keimfähigkeit verloren.

8. Linum usitatissimum.

Die den Bau des Euphorbiaceentypus (vergl. p. 90) zeigenden Aleuronkörner des Leinsamens sind in dem hier nur kleinen Endosperm und den Cotylen in jeder Zelle zu 2—5 enthalten. Dieselben erreichen einen Längsdurchmesser von 10 Mik., die grössten sogar 15 Mik., während die kleinsten nur eine Länge von 1—2 Mik. besitzen. Ihre Gestalt ist länglich keilförmig, an der einen Spitze abgerundet, an der andern kantig, von der Form der Einschlüsse bedingt. Die Oberfläche des Kornes ist nur wenig höckerig. Hüllmembran und Grundsubstanz sind deutlich sichtbar (Taf. II, Fig. 1). Letztere wird leicht von Wasser gelöst. Jedes Korn enthält nur ein Krystalloid, welches häufig durch eine Längsspalte in zwei symmetrische Hälften getheilt ist. Regelmässige Krystallformen sind selten, gewöhnlich sind Ecken und Kanten abgerundet. Sie sind von homogener Beschaffenheit, oft von Sprüngen und Rissen durchsetzt und erreichen meistens einen Durchmesser von 7,5 Mik. Das Globoid befindet sich gewöhnlich an der schmäleren Seite des Krystalloids und besitzt stets regelmässige Kugelform. Seine Membran ist häufig gefaltet, so dass es dann auf dem Querschnitt mit einem äusserst fein gezackten Umriss und fein punktirter Oberfläche erscheint. Die äusserste Zellreihe der Cotylen enthält rundliche

Aleuronkörner von 5 Mik. Durchmesser, welche mehrere kleine Krystalloide, aber keine Globoide enthalten. Die kleinen Körnchen, welche sich stets zahlreich als Begleiter der grossen in den Zellen vorfinden, sind nicht einschlussfrei, wie vielfach angegeben wird, sondern enthalten stets Globoid und Krystalloid, welche allerdings nur von einer sehr spärlichen Hüllsubstanz umschlossen werden. Auch in den Aleuronkörnern des Leinsamens finden wir niemals Krystalle von oxalsaurem Kalk.

Nach 12stündigem Einquellen waren die Samen von einer dichten Schleimhülle umgeben und stark gequollen. Die Aleuronkörner hatten ebenfalls durch die nun straff gespannte Membran ihr Volumen vergrössert. Eine Lösung der Grundsubstanz war jedoch nirgends eingetreten. Die auf feuchten Flugsand ausgesäten Samen keimten sämmtlich.

Nach 24stündigem Einquellen hatte sich die Form der Aleuronkörner mehr der Kugelgestalt genähert. Die Membran war gegen die Grundsubstanz scharf differenzirt und letztere in Wasser viel leichter löslich als solche nicht gequollener Samen. Die Faltungen der Globoidmembranen waren nun sehr deutlich sichtbar, so dass der helle, durchschimmernde Kern des Globoids wie corrodirt erschien. Die Samen waren noch sämmtlich keimfähig.

Selbst nach einem drei- bis viertägigen und noch länger andauerndem Einquellen war eine Aenderung der Aleuronkörner nicht zu constatiren. Nur solche Samen, deren Würzelchen bereits die Samenhaut durchbrochen hatte, zeigten im Endosperm alle Stadien der Lösung.

Die Keimkraft derartig behandelter Leinsamen hatte wenig gelitten. Es keimten noch 70 Procent.

Da der die Samen umgebende Schleim eine die Aleuronkörner vor weiterer Wasserwirkung schützende Hülle bildet, so stellte ich die Einquellungsversuche auch mit solchen Samen an, deren Schleimschicht durch anhaltendes Schütteln mit Glasperlen vollständig entfernt wurde.

Die Aleuronkörner entschleimter und dann gequollener Samen erreichten ihre Turgescenz in viel kürzerer Zeit als die nicht entschleimter Samen. Sonstige Verschiedenheiten konnte ich nach einem ein- bis zweitägigen Einquellen nicht bemerken. Nach drei-

tägigem Einquellen wurde in den in Wasser liegenden Schnitten nicht nur die Membran und Grundsubstanz schnell gelöst, sondern nach längerem Liegen wurde auch bei vielen Krystalloiden ein gewisser Theil von aussen abgelöst. Bei vielen ging auch der centrale Theil in Lösung über, so dass das Krystalloid nur noch die Form eines breiten Ringes besass. Vollständig waren die Krystalloide selbst nach mehrwöchentlichem Einlegen der Schnitte in Wasser nicht in Lösung zu bringen. Auch die Globoide erlitten, wenn auch erst nach einiger Zeit, eine Veränderung, welche sich durch Trübung ihrer Masse bemerkbar machte, eine Lösung war indessen niemals zu beobachten.

Einen viel grösseren Einfluss hatte die Entfernung des Schleimes auf die Keimung selbst. Die krankhafte Nutation der Würzelchen solcher Samen beweist, dass es die hauptsächlichste Bestimmung der Schleimschicht ist, den Samen im Boden festzuhalten.

Ein deutliches Bild von dem verschiedenen Verhalten entschleimter und unverletzter Samen bei der Keimung möge die Aufzeichnung zweier Parallelversuche geben, welche ich aus einer ganzen Reihe übereinstimmender Versuche ausgewählt habe:

Versuch A.	Versuch B.
100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen und dann in einem mit feuchtem Flugsand gefüllten, mit einer Glasglocke bedeckten Blumentopfe zur Aussaat gebracht.	100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen und dann durch Schütteln mit Glasperlen in einem kleinen Fläschchen entschleimt. Sie wurden dann wie bei Versuch A ausgesät.
Nach 24 Stunden.	Nach 24 Stunden.
20 Samen hatten ein 2—3 mm langes Würzelchen entwickelt.	15 Samen hatten ein 2—3 mm langes Würzelchen entwickelt.
Nach 2 Tagen.	Nach 2 Tagen.
80 Samen gekeimt, Würzelchen 1—1,5 cm lang, gerade.	80 Samen gekeimt, Würzelchen 1—1,5 cm lang, hin und her gekrümmt.

Nach 3 Tagen.

95 Samen gekeimt, bei 20 die Cotylen sichtbar, die Samenhaut abgestreift. Würzelchen 2 cm lang.

Nach 4 Tagen.

30 Samen mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 2 cm, Würzelchen 3 cm lang (Taf. IV, Fig. 12, A)[1]).

Nach 5 Tagen.

50 Pflänzchen aufrecht mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 3 cm lang, bei einigen das Knöspchen sichtbar.

Nach 7 Tagen.

Die Pflänzchen bilden einen dichten Rasen und sind kräftig entwickelt. Wurzeln überall in den Boden eingedrungen, Cotylen straff ausgebreitet. Das erste Stengelglied beginnt sich zu entwickeln.

Nach 3 Tagen.

Die Krümmungen der Würzelchen der gekeimten Samen haben zugenommen, längstes Würzelchen 1,5 cm.

Nach 4 Tagen.

Bei 5 Samen die Cotylen schwach sichtbar, die übrigen mit 3 cm langen, spiralig gewundenen Würzelchen (Taf. IV, Fig. 12, B).

Nach 5 Tagen.

4 Pflänzchen aufrecht mit entfalteten Cotylen; hypocotyles Glied 1,5 cm lang, bei den übrigen die Cotylen schwach sichtbar.

Nach 7 Tagen.

15 Pflänzchen aufrecht; die Würzelchen der übrigen sind entweder dicht am Samen spiralig gewunden, oder bedecken in krankhaften Nutationen begriffen den Boden, hier und da Adventivwurzeln bildend und den Samen emporhebend.

Nach 12 Tagen.

80 Pflänzchen sind nun entwickelt, hypocotyles Glied jedoch nur 3,5—4 cm lang.

Auch das Bedecken der entschleimten Samen mit einer dünnen Sandschicht vermag den Schleim nicht zu ersetzen. Zwei in dieser Richtung angestellte Versuche mögen dies näher erläutern:

---

1) Herr Dr. A. Tschirch hatte die Liebenswürdigkeit, eine photographische Aufnahme dieser Versuchsstadien zu machen, welche auf Taf. IV, Fig. 12 reproducirt worden ist.

Versuch C.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen, dann wie bei Versuch A ausgesät und mit einer dünnen Sandschicht bedeckt.

Nach 2 Tagen.

60 Samen sichtbar gekeimt, von allen nur das gebogene hypocotyle Glied sichtbar.

Nach 3 Tagen.

95 Pflänzchen aufrecht mit ausgebreiteten Cotylen, hypocotyles Glied 3 cm lang.

Nach 4 Tagen.

Hypocotyles Glied 3,5 cm lang.

Nach 5 Tagen.

Hypocotyles Glied 4,5 cm lang.

Nach 15 Tagen.

Höhe der kräftig entwickelten Pflänzchen 10 cm, einen dichten Rasen bildend.

Versuch D.

100 Samen von Linum usitatissimum wurden 6 Stunden in Wasser eingequollen, entschleimt und wie bei Versuch C mit einer dünnen Sandschicht bedeckt ausgesät.

Nach 2 Tagen.

26 Samen sichtbar gekeimt, Samen aus der Sandschicht emporgehoben.

Nach 3 Tagen.

4 Pflänzchen aufrecht, hypocotyles Glied 1 cm lang.

Nach 4 Tagen.

21 Pflänzchen aufrecht, hypocotyles Glied 2,5 cm lang.

Nach 5 Tagen.

Bei 30 Pflänzchen hypocotyles Glied 3 cm lang.

Nach 15 Tagen.

Höhe der 60 entwickelten Pflänzchen 6,5 cm.

Nach 24 Tagen.

Höhe der 85 entwickelten Pflänzchen 10 cm, einen dichten Rasen bildend.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse der Wasserwirkung auf die Aleuronkörner der ruhenden Samen der Versuchspflanzen habe ich in der Tabelle auf p. 110 und 111 übersichtlich zusammengestellt.

Im Allgemeinen lässt sich bemerken, dass die Aleuronkörner

der verschiedenen Samen sich gegen Wasser ausserordentlich verschieden verhalten. Eine ganze oder theilweise Lösung des Aleuronkornes kann chemisch und durch den Effect der Keimthätigkeit erfolgen, oder durch beide Momente zugleich hervorgebracht werden. In allen Fällen kann die erste Regung der Keimthätigkeit des Samens anatomisch auch durch das Vorhandensein von Lösungsstadien, welche man namentlich in der Umgebung der Radicula zu suchen hat, festgestellt werden, noch lange bevor äusserlich irgend welche Anzeichen auf die beginnende Keimung schliessen lassen. Durch Wasser, ohne Mitwirkung der Keimthätigkeit angreifbar, sind namentlich die Aleuronkörner peripherischer Zellschichten, welche zum grössten Theil aus Grundsubstanz bestehen und kleine Globoide als Einschlüsse enthalten. Die Keimkraft solcher Samen, deren Aleuronkörner theilweise in Lösung übergegangen sind, hat nicht wesentlich gelitten. Das diese Aleuronkörner umhüllende Plasmanetz ist sehr widerstandsfähig und selbst nach mehrtägiger Wasserwirkung unverändert. — Die Aleuronkörner der Umbelliferen sind gegen Wasser ausserordentlich empfindlich. Es gelingt schon nach kurzer Zeit, die Grundsubstanz und Hüllmembran zu lösen. Da die beständigen Krystalle von oxalsaurem Kalk, welche in diesen Samen in grosser Menge vorkommen, kein Reservematerial zu bilden scheinen, die Globoide allein aber nicht hinreichend sind, die zum Wachsthum der Keimpflanze nöthigen Stoffe zu liefern, so mag es vielleicht mit dieser leichten Auflösung der Aleuronkörner zusammenhängen, dass schon nach verhältnissmässig kurzem Einquellen die Keimkraft der Umbelliferen erloschen ist.

Die Aleuronkörner, welche Krystalloide als Einschlüsse führen, sind ausserordentlich schwer angreifbar. Erst mit dem Erlöschen der Keimkraft gelingt es, die Membran und Grundsubstanz der Aleuronkörner der Randpartieen zu lösen. Aber selbst wenn es möglich wäre, die Keimthätigkeit trotz lange andauerndem Einquellen zu erhalten und durch Einwirkung des Wassers die Grundsubstanz zu lösen, so würde nur eine geringe Menge des Reservematerials verloren gehen, Krystalloide und die stets mit ihnen vergesellschaftet vorkommenden Globoide sind in Wasser niemals vollständig löslich und bleiben dem Samen erhalten. — Aus den voraufgegangenen Beobachtungen können wir also den Schluss ziehen, dass die

Tabellarisc

der Einwirkung des Wassers auf die Aleuro

Anl

Name der Versuchspflanze	Nach 12stündig. Einquellen				Nach 24stündig. Einquellen			
	Grund-substanz	Krystalloid	Globoid	es keimten	Grund-substanz	Krystalloid	Globoid	es kei te
Sinapis alba	Aleuronkörner gequollen			95 %	durchsichtig	—	in Oel sichtbar	95
Lupinus angustifolius	Aleuronkörner gequollen			100 %	granulirt	—	sehr wenige frei im Zellinhalt	90
Foeniculum officinale	bei denen der Randpartie gelöst	—	freiliegend	60 %	bei fast allen gelöst	—	und Krystalle freiliegend	30
Daucus Carota	"	—	"	90 %	"	—	Proteinkern der Krystalle gelöst	70
Carum Carvi	"	—	"	90 %	nur die der Randpartie gelöst	—	Grundsub. um Globoide länger erhalten	90
Cucurbita Pepo	Aleuronkörner unverändert			100 %	Aleuronkörner gequollen			100
Ricinus communis	Aleuronkörner gequollen			80 %	gequollen	unverändert	unverändert	80
Linum usitatissimum	Aleuronkörner gequollen			100 %	"	"	Faltung der Membran vermehrt	100
Linum usitatissimum entschleimt	Aleuronkörner stark gequollen			100 %	"	schwache Lösungserscheinungen	getrübt	90

ersicht
ner des ruhenden Samens einiger Pflanzen.

. 108 ff.

…ch 48stündig. Einquellen				Nach 3tägigem Einquellen				Theilweise gelöst waren die Aleuronkörner in den peripherischen Schichten		
…nd-…anz	Krystalloid	Globoid	es keimten	Grundsubstanz	Krystalloid	Globoid	es keimten	schon vor Beginn d. Keimung	erst nach Beginn d. Keimung	es keimten nach dieser Zeit
…heil …ist	—	frei im Zellinhalt	80 %	Durchsichtigkeit erhöht	—	—	80 %	nach achttägigem Einquellen	sofort	50 %
…elen …sung …iffen	—	in Oel sichtbar	90 %	Vacuolen zeigend	—	frei im Zellinhalt	80 %	nach 6tägigem Einquellen	sofort	60 % die Pflänzchen gingen frühzeitig zu Grunde
—	—	—	—	—	—	und Krystalle unverändert	0	nach 2tägigem Einquellen	sofort	0
—	—	—	—	—	—	„	50 %	nach 4tägigem Einquellen	sofort	0
…rch…htig	—	—	—	bei fast allen gelöst	—	„	30 %	nach 3tägigem Einquellen	sofort	0
…rch…htig	unverändert	unverändert	100 %	in der Region der Radicula alle Stadien der Lösung			10 %	—	nach 3tägigem Einquellen	10 %
„	unverändert	unverändert	80 %	„			80 %	—	nach 4tägigem Einquellen	0
„	„	„	—	„			70 %	—	nach 8tägigem Einquellen	30 %
—	—	—	—	„			60 %	—	nach 6tägigem Einquellen	30 %

Aleuronkörner mit allen ihren Einschlüssen und der Grundsubstanz im ungelösten Zustande zum Wachsthum des Keimpflänzchens unbedingt erforderlich sind, und dass ferner eine wirklich vollständige Lösung der Aleuronkörner erst in demjenigen späteren Zeitpunkte stattfindet, wo wahrscheinlich die ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings eingetreten sind.

IV.

Entwickelung der Aleuronkörner beim Reifen der Samen.

Da die Aleuronkörner im reifenden Samen unmittelbar nach dem Verschwinden der transitorischen Stärke entstehen, so stellten einige Autoren die Ansicht auf, dass sie aus den Stärkekörnern, vielleicht auch aus den Chlorophyllkörnern hervorgehen sollten. Pfeffer hat durch seine genauen Versuche diese irrige Annahme widerlegt und festgestellt, dass die Aleuronkörner im letzten Reifestadium als durchaus selbstständige Körper frei im Zellsaft entstehen und niemals Uebergangsproducte anders geformter Stoffe sein können. Bezüglich der Art und Weise ihres Entstehens ist auch die Behauptung von de Gris[1]), dass jedes Aleuronkorn in einer besonderen Vacuole gebildet würde, von Pfeffer entkräftet worden. Die Beweisführung Pfeffer's wurde indessen durch neuere Untersuchungen von Wakkers[2]) und Werminski[3]) angezweifelt. Beide Autoren haben gefunden, dass die Einschlüsse in besonderen Vacuolen gebildet werden. Werminski geht sogar noch einen Schritt weiter und theilt mit, dass es ihm gelungen sei, durch wasserentziehende Mittel in diesen Vacuolen die Bildung von Krystalloiden hervorzurufen und die bereits entstandenen zu vergrössern. Meine genau

---

1) Gris, Annales des scienc. nat. 1864, V. sér., t. II, pl. 39.

2) J. H. Wakkers, Aleuronkorrels zijn vacuolen. Ref. i. d. Bot. Centralbl. No. 12, Bd. 33, p. 361.

3) F. Werminski, Ueber die Natur der Aleuronkörner. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1888, p. 199.

nach den Angaben Werminski's angestellten Versuche lieferten jedoch das Ergebniss, dass der genannte Verfasser mehrfach von irrigen Beobachtungen ausgegangen ist. Ich verfolgte zunächst die Bildung der Aleuronkörner von

Ricinus communis.

In dem reifenden, schon mit einer harten, gefärbten Schale versehenen Ricinussamen sah ich, genau so wie es Pfeffer beschreibt, nach dem Verschwinden der transitorischen Stärke kleine Globoide und Krystalloide neben einander frei im Zellinhalt liegen. (Taf. II, Fig. 15.) Die die Beobachtung sehr erschwerende körnige Masse, welche die Zellen erfüllt, weicht zwar von den Einschlüssen etwas zurück, jedoch geschieht dies niemals in so ausgesprochenem Maasse, dass man einen derartigen, etwas helleren Raum, der niemals von irgend welcher Membran begrenzt wird, als eine Vacuole bezeichnen könnte. Gänzlich verfehlt ist ferner die Ansicht Werminski's, dass die Globoide erst zuletzt durch Austrocknen der Grundsubstanz entständen. Die Bildung der Globoide findet stets gleichzeitig mit derjenigen der Krystalloide statt. Allerdings sind sie in solchen Präparaten, welche die ersten Entwickelungsstadien der Aleuronkörner zeigen, wegen des trüben, körnigen Zellinhaltes sehr schwer sichtbar und können leicht übersehen werden. Durch successive Behandlung der Schnitte mit absolutem Alkohol und verdünnter Kalilauge ist aber ein Irrthum nicht mehr möglich. Man sieht nun, dass die Globoide im Verhältniss zum vorher vorhanden gewesenen rudimentären Krystalloid schon eine ansehnliche Grösse erreicht haben (Taf. II, Fig. 16). Ferner konnte ich den Versuch Werminski's, dass durch 24stündiges Einlegen der Schnitte in altes Citronenöl ein Wachsen der noch nicht völlig ausgebildeten Krystalloide oder sogar ein Entstehen derselben möglich sei, nicht bestätigen. Nach der Ansicht Werminski's soll dies durch die wasserentziehende Wirkung des Citronenöls hervorgebracht werden. Altes Citronenöl besitzt allerdings diese Eigenschaft, wirkt aber gleichzeitig, wahrscheinlich seiner schwach sauren Beschaffenheit wegen, lösend auf die Krystalloide ein, wie man sich durch Parallelversuche an Schnitten ruhender

Samen leicht überzeugen kann [1]). Jedoch muss ich der Ansicht Werminski's beipflichten, dass Citronenöl als Aufhellungsmittel die vorzüglichsten Dienste leistet.

Auch durch Aufbewahren der Samenfragmente im Exsiccator konnte ich ein Wachsthum der Krystalloide nicht beobachten, wohl aber die Bildung der Grundsubstanz um die Einschlüsse, eine Erscheinung, welche schon Pfeffer beschreibt. Derselbe sagt wörtlich [2]):

„Dass Wasserentziehung die Entstehung der Hüllmasse veranlasst, zeigen evident noch nicht völlig gereifte Samen, welche man nach Entfernung der Schale einige Stunden an der Luft austrocknen lässt. Denn nun findet man eine Hüllmasse, welche in dem Samen zuvor nicht vorhanden war, gebildet.“

Zu den gleichen Ergebnissen führten die Versuche mit den reifenden Samen von

Linum usitatissimum.

Hier beginnt die Bildung der Aleuronkörner erst dann, wenn das Endosperm zu einem dünnen Häutchen reducirt ist, und die Cotylen ihre völlige Ausbildung erlangt haben. Man sieht dann neben Oeltröpfchen und Chlorophyllkörnern Globoide und Krystalloide frei im Zellinhalt, aber niemals in sogenannten Vacuolen liegen. Die Krystalloide bilden in ihren ersten Stadien fast viereckige Ringe, welche Sprünge und Risse zeigen, oft sogar an einer Stelle offen sind (Taf. II, Fig. 5). Die Krystallisation schreitet dann nach innen und aussen vor, bis das Krystalloid seine normale Grösse erlangt hat (Taf. II, Fig. 6). Auch bei diesen Samen gelingt es leicht, durch Austrocknen die Bildung der Grundsubstanz hervorzurufen.

Es ist also nur die Entstehung der letzteren ein chemisch-physikalischer Process, nicht aber, wie Werminski behauptet, auch die Entstehung der Krystalloide, Globoide und Krystalle. Diese Einschlüsse werden vielmehr durch die Lebensthätigkeit der Zelle gebildet.

---

1) Die saure Reaction alten Citronenöls lässt sich am einfachsten constatiren, wenn man in einem Porzellanschälchen einen Tropfen Kalkwasser mit einer Spur Phenolphthaleïn färbt und nun einen Tropfen Citronenöl hinzufügt, worauf alsbald Entfärbung eintritt. Frisches Citronenöl giebt diese Reaction nicht.

2) a. a. O. p. 518.

V.

Die Auflösung der Aleuronkörner beim Keimen der Samen.

Schon am Schluss des Kapitels, welches von der Einwirkung des Wassers auf den ruhenden Samen handelt, ist hervorgehoben worden, dass das Auftreten von Lösungsstadien der Aleuronkörner und ihrer Einschlüsse zusammenfällt mit den Anzeichen der ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings. Durch den Beweis ferner, dass die Lösung der Krystalloide niemals durch Wasser allein erfolgen kann, sondern stets ein Effect der Keimthätigkeit ist, ist zwar die Ansicht Werminski's, dass auch die Lösung der Aleuronkörner ein rein chemisch-physikalischer Process sei, widerlegt. Um aber alle Zweifel zu heben, gebe ich in Folgendem das Ergebniss meiner Beobachtungen über das Verhalten der Aleuronkörner einiger keimenden Samen. Ich beginne mit Ricinus communis, an welchen Samen ja auch Werminski seine Studien gemacht hat.

1. Ricinus communis.

Noch lange bevor die äusserste Spitze des Würzelchens sichtbar ist, finden wir in den zarten Cotylen und der Radicula Auflösungsstadien der Aleuronkörner. Zu dieser Zeit sind die Zellen des Endosperms mit einer trüben Emulsion erfüllt, in welcher die Aleuronkörner als dunkle Massen sichtbar sind. Die Aufhellung dieser Schnitte ist allein durch Maceration derselben in absolutem Alkohol möglich. Sobald die Radicula hervortritt, und in ihren Zellen transitorische Stärke gebildet wird, ist auch die Lösung der Aleuronkörner in den Cotylen vollendet. Die einzelnen Stadien der Auflösung dieser kleinen Aleuronkörner lassen sich schwer übersehen, sind dagegen leicht bei den viel grösseren des Endosperms zu beobachten. — Sobald das Würzelchen eine Länge von 1 cm erreicht hat, zeigen uns successive Schnitte durch das Endosperm alle Stadien der in Auflösung begriffenen Aleuronkörner. Die Lösung derselben, von den inneren Theilen nach den peripherischen Zellschichten fortschreitend, beginnt damit, dass die Grundsubstanz die ihr dargebotene Feuchtigkeit begierig aufnimmt, wodurch sie auf-

quillt und die sie umgebende, vorher schlaff und faltig anliegende Membran spannt, so dass jedes Korn jetzt eine annähernde Kugelgestalt mit fast glatter Oberfläche erlangt hat (Taf. II, Fig. 11).

Die bizarren Formen der Aleuronkörner des ruhenden Samens mit ihren grubigen Vertiefungen sind verschwunden, wir meinen ganz andere Gebilde vor Augen zu haben. Betrachten wir nach dem Vorschlage Werminski's diese kugeligen Körper, welche derselbe Vacuolen nennt, in altem Citronenöl, so sieht man zunächst, dass sich die turgescente Membran scharf von der aus einem körnigen Detritus bestehenden Grundsubstanz differenzirt. Bald aber macht sich neben der wasserentziehenden, aufhellenden Wirkung des Citronenöls auch die auflösende bemerkbar, und alsbald erscheinen auch die deutlichen Umrisse der Einschlüsse. Bei der Beobachtung der vorher in Alkohol macerirten Schnitte in Wasser, welches allerdings die Grundsubstanz leicht löst, sind diese Verhältnisse viel besser zu übersehen. Krystalloide und Globoide liegen dann ohne Umhüllung vor uns und lassen etwaige Veränderungen leicht erkennen. — Der weitere Verlauf der Lösung hat auf die äussere Form keinen Einfluss. Innerhalb der Membran beginnen die Krystalloide langsam von aussen nach innen gleichmässig abzuschmelzen (Taf. II, Fig. 12 a u. b). Von dieser Verkleinerung der Krystalloide kann man sich leicht durch Messungen überzeugen. Die Membran der Krystalloide konnte ich nur kurze Zeit wahrnehmen, während Pfeffer dieselbe bis zum Verschwinden des Kernes beobachtet hat. Dieser Kern zeigt scharfe Ecken und Kanten wie ein normales Krystalloid; er wird allmählich an die Wandung der Hüllmembran gedrängt und bleibt lange widerstandsfähig. — Solche Krystalloide, welche schon im ruhenden Samen Risse und Sprünge zeigten, zerfallen alsbald, und ihre schon abgeschmolzenen Fragmente sind noch einige Zeit sichtbar. Eine centrifugal erfolgende Lösung der Krystalloide konnte ich nur in einigen wenigen Fällen beobachten.

Legt man nun nach der Vorschrift Werminski's solche Samendurchschnitte, deren Aleuronkörner fast ganz gelöste Krystalloide enthalten, in altes Citronenöl oder bringt die Samenfragmente in den Exsiccator, so werden die Krystalloide weder auf ihre frühere Grösse gebracht, noch die ursprüngliche Form der Aleuronkörner wiederhergestellt, woraus evident hervorgeht, dass die Lösung der

Krystalloide innerhalb der Aleuronkörner nicht als ein rein physikalischer Vorgang aufzufassen ist. —

Hand in Hand mit der theilweisen Lösung der Krystalloide geht eine tiefgreifende Veränderung der Globoide vor sich. Der straffe, scharf umschriebene Rand wird schwach zackig, und die vorher homogene Masse nimmt eine körnige Beschaffenheit an (Taf. II, Fig. 12a). Bei einigen sind auch schwache concentrische Schichten bemerkbar.

Die mit solchen Aleuronkörnern ausgeführten Krystallisationsversuche blieben ebenfalls erfolglos.

Im weiteren Verlauf der Lösung nimmt die Grundsubstanz an Volumen zu und sprengt die Membran, um sich alsdann mit dem Zellinhalt zu vermischen. Die Hüllmembran wird ausserordentlich schnell gelöst, so dass man ihre Existenz nicht mehr wahrnehmen kann. Globoide und Krystalloide liegen nun unregelmässig zerstreut im Zellinhalt. Von beiden Einschlüssen gehen die Globoide zuerst in Lösung, die Krystalloide sind dann vom Zellinhalt umgeben, liegen aber niemals in sogenannten Vacuolen (Taf. II, Fig. 17). Sie zeigen nun sehr deutliche, concentrische Schichtung (Taf. II, Fig. 14) und gehen allmählich in Lösung über, eine granulöse Masse zurücklassend, welche dann auch schliesslich gelöst wird.

Die Lösung sämmtlicher Aleuronkörner ist vollendet, ehe die Keimblätter entfaltet sind.

Nachdem die Radicula eine Länge von 2—3 cm erreicht hatte, die Hauptmasse der Aleuronkörner des Endosperms also gelöst war, wurde die Keimthätigkeit durch Trockenlegen der Samen unterbrochen. Die Aleuronkörner zeigten in solchen vollständig getrockneten Samen eine unveränderliche Beschaffenheit. Die bereits theilweise gelösten Krystalloide erlangten niemals ihre normale Grösse, nur die noch nicht mit dem Zellinhalt vermischte Grundsubstanz wurde durch Wasserentziehung contrahirt, und die reguläre Kugelgestalt der gequollenen Körner ging verloren.

Das Verhalten der Aleuronkörner solcher Samen gegen Reagentien sowie ihre morphologische Beschaffenheit war genau ihren Auflösungsstadien entsprechend.

Einmal in ihrer Keimung unterbrochene Samen keimten nicht mehr, selbst wenn alle Bedingungen, welche die Keimung befördern, erfüllt waren.

2. Linum usitatissimum.

Im keimenden Leinsamen beginnt die Lösung der Aleuronkörner im Endosperm und erst, nachdem sie hier nahezu vollendet ist, in den Cotylen. Die Auflösung geht hier in folgender Weise vor sich.

Die Aleuronkörner nehmen durch starkes Aufquellen zunächst Kugelgestalt an. Da das Volumen einer Zelle oft nicht hinreicht, ihnen genügenden Raum zur Ausdehnung zu gewähren, so werden sie oft durch gegenseitigen Druck abgeplattet. Die Hüllmembran ist straff gespannt und sehr durchsichtig geworden, so dass man ohne weitere Hilfsmittel die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz erkennen kann (Taf. II, Fig. 4a). Die Löslichkeit der letzteren in Wasser hat derartig zugenommen, dass sie beim Betrachten der Schnitte in Wasser nach wenigen Augenblicken ebenso wie die Membran verschwunden ist. Aber auch die Krystalloide haben durch den Keimungsprocess bereits eine gewisse Umwandlung erfahren. Lässt man die Schnitte einige Tage in Wasser liegen, so bemerkt man, dass die Krystalloide meist von innen nach aussen bis auf einen breiten, gewöhnlich viereckigen, mit Querrissen versehenen Ring gelöst werden. Ja sogar bis zu einem Zerfall des letzteren kann die Lösung fortschreiten (Taf. II, Fig. 3a—e). Die Globoide sind am wenigsten verändert. Sie sind in Wasser unlöslich und nur nach längerem Verweilen in verdünnter Kalilauge nehmen sie concentrische Schichtung an.

Im weiteren Verlaufe der Keimung macht die Lösung der Aleuronkörner rapide Fortschritte. Während das Würzelchen schon kräftig entwickelt ist, die Samenhaut aber noch die Cotylen umschliesst, hat sich der Zellinhalt mehr und mehr getrübt. Er bildet eine körnige Masse, in welche die Aleuronkörner eingebettet sind. Noch ist die Hüllmembran derselben vorhanden, aber das Krystalloid ist schon theilweise innerhalb derselben gelöst. Diese Lösung erfolgt entweder von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten (Taf. II, Fig. 4c), oder von innen nach aussen, wobei

der dadurch entstehende Ring schliesslich in mehrere Fragmente zerfällt, die alsbald gelöst werden. Dass in der That die Krystalloide hier vor den Globoiden gelöst werden, lässt sich sehr leicht mit einer Lösung von Natriumphosphat nachweisen. Taf. II, Fig. 8 zeigt einige Zellen mit Aleuronkörnern, von denen nur einige gezeichnet wurden, vor der Behandlung, Fig. 9 nach der Behandlung mit Natriumphosphat. Es sind nur noch Globoide vorhanden, die Krystalloide dagegen längst in Lösung übergegangen.

Samenschnitte, welche die Aleuronkörner in diesem Lösungsstadium enthielten, habe ich tagelang in altem Citronenöl und solche Samenfragmente im Exsiccator aufbewahrt, ohne eine Neubildung der Krystalloide zu beobachten.

In diesem Keimungsstadium hat sowohl in der Radicula, als auch im hypocotylen Gliede eine reichliche Bildung transitorischer Stärke begonnen. Das Endosperm ist zu einem dünnen Häutchen zusammengefallen. In keinem dieser Organe ist Aleuron noch aufzufinden, nur in den Zellen der Cotylen, welche bereits zu ergrünen beginnen, sind Aleuronkörner in Lösungsstadien zu beobachten. Nachdem die Krystalloide gelöst sind, geht auch die Grundsubstanz und Membran sehr schnell in Lösung. Die Globoide sind nun unregelmässig im Zellinhalt vertheilt, und beim Auftreten der ersten Chlorophyllkörner ist auch ihre Lösung vollendet. Dieser Vorgang ist schwierig in den einzelnen Stadien zu beobachten. Nur bei wenigen Objecten gelang es mir, ihn genau zu verfolgen. Die Quellung der Globoide nimmt allmählich zu, so dass die höckerige Oberfläche fast verschwindet. Es lässt sich deutlich eine helle Randzone, die Membran, erkennen, welche das eigentliche Globoid umgiebt. Bei sehr starker Vergrösserung erwies es sich, dass eine breite peripherische Schicht dieses Kernes von zahlreichen wurmförmig gewundenen und unregelmässig anastomosirenden Kanälen durchzogen war, während ein dunkler centraler Theil völlig intact war (Taf. II, Fig. 10). Die Corrosion der Randzone nahm nun allmählich zu, bis sie eine völlig schwammige Beschaffenheit angenommen hatte, und dann wurde sie schnell gelöst. Erst nach dem Verschwinden dieser Randzone besass das Globoid, dessen Membran immer noch vorhanden war, jene concentrische Schichtung, welche so vielfach an demselben beobachtet worden ist. — Nach einiger

Zeit wurde nun auch die Membran gelöst, welcher alsbald der dunkle, am längsten widerstandsfähige Kern folgte. Die Lösung der Aleuronkörner in den Cotylen war vollendet, als sie eben die Samenhaut abgestreift hatten und im Begriff waren, der Streckung durch das schon stark entwickelte hypocotyle Glied zu folgen.

Bei einigen Samen, welche sich im vorgeschrittenen Stadium der Keimung befanden und die Aleuronkörner in verschiedenen Phasen der Lösung enthielten, wurde die Keimung dadurch unterbrochen, dass die Samen zuerst bei gewöhnlicher Temperatur, später im Exsiccator getrocknet wurden. Die Aleuronkörner hatten durch diese Manipulation keine Veränderung erfahren. Sie hatten genau das ihren Lösungsstadien entsprechende Aussehen und waren nicht zu den Formen zurückgekehrt, welche sie im ruhenden Samen besessen hatten. Die durch das Trocknen nothwendig erfolgte Einschrumpfung der noch mit der Membran versehenen Aleuronkörner war nicht mit derjenigen des normalen Kornes vergleichbar.

Wieder keimungsfähig waren indessen nur solche Samen, deren Aleuronkörner noch unversehrte Krystalloide aufzuweisen hatten.

3. Foeniculum officinale.

Auch bei den Fenchelmericarpien sind es vorzugsweise die Aleuronkörner des Endosperms, welche ein Studium der einzelnen, bei den Umbelliferen besonders schnell verlaufenden Lösungsstadien gestatten. Sobald die Radicula eine Länge von 1 cm erreicht hat, finden wir im trüben ölreichen Zellinhalt schon viele Globoide und Krystalle ihrer Grundsubstanz und Membran entkleidet (Taf. III, Fig. 15). Die breite Randzone des Endosperms zeigt dies in hervorragendem Maasse, während in den mittleren Partieen die Grundsubstanz noch vorhanden ist, aber bereits eine körnige Structur angenommen hat. Die Membran dieser Aleuronkörner ist vielfach blasig aufgetrieben. Noch ehe jedoch die Globoide irgend welche Veränderung ihrer Masse zeigen, ist die Grundsubstanz gelöst, und auch die Membran, zwar noch einige Zeit als zarte Linie sichtbar, geht alsbald in Lösung über. Die in der Minderzahl vorhandenen globoidführenden Aleuronkörner behalten ihre Hüllmasse länger als die krystallführenden. — Die Globoide zeigten nun eine deutliche Schichtung, einen dunklen

Kern, welcher von einem hellen Ringe umgeben war.. Niemals vollzog sich diese Desorganisation innerhalb einer sogenannten Vacuole. Gegen Reagentien zeigten sie ein anderes Verhalten als im unveränderten Zustande. Von Jodjodkali wurden sie nun gelb gefärbt, und nach einigem Verweilen in verdünnter Kalilauge waren sie stark gequollen. Die Krystalldrusen hatten ihren Proteïnkern und die in ihre Spalten eingelagerte Proteïnmasse eingebüsst. Sie erschienen mit scharf gezacktem Rande und in der Mitte durchlöchert. Eine kleine Zahl war auch schon in kleinere Bruchstücke zerfallen. In diesem Zustande bleiben sie indessen lange erhalten, noch in dem letzten Faserrest des aufgezehrten Endosperms sind kleine Krystalle sichtbar. Die Lösung der Globoide wird nun rasch vollendet, und nach dem Hervorbrechen der Cotylen ist keine Spur der Aleuronkörner mehr vorhanden. Im hypocotylen Gliede und im Würzelchen findet man reichlich transitorische Stärke, niemals aber Aleuronkörner.

4. Sinapis alba.

Sobald das Würzelchen eine Länge von 5 mm erlangt hat, bemerkt man in dem centralen Theil der Keimblätter schon in Lösung begriffene Aleuronkörner. Die Grundsubstanz derselben ist bereits gelöst, die Globoide befinden sich aber noch in unveränderter Lage. Die Aleuronkörner der übrigen Zellpartieen sind stark gequollen, kugelig, und ihre Grundsubstanz wird von Wasser ausserordentlich leicht zerstört, so dass die feinkörnigen Globoide in Strömen über das Object dahinfliessen. — Nach dem Abstreifen der Samenhaut, aber noch vor dem völligen Entfalten der Cotylen, bemerkt man im hypocotylen Gliede reichliche Mengen transitorischer Stärke, in den äussersten Zellreihen der Cotylen dagegen kleine, kranzförmig gelagerte Körnchen, welche die Amylodextrinreaction geben. In dem körnigen Plasma bemerkt man wohl hier und da noch die Höhlungen, welche von den Aleuronkörnern eingenommen wurden, von diesen selbst aber keine Spur mehr. Die Globoide sind vollständig gelöst, ehe noch die Bildung von Chlorophyll stattgefunden hatte.

Fassen wir die Ergebnisse dieser Untersuchungen über die Auflösung der Aleuronkörner verschiedener Typen zusammen, so können wir zunächst als allgemeinen Satz aufstellen, dass die Lösung der Aleuronkörner um so schneller erfolgt, je einfacher das Korn zusammengesetzt ist. Die nur globoidführenden gehen sehr schnell in Lösung über, während die auch gleichzeitig Krystalloide enthaltenden sehr lange widerstandsfähig sind. Die Lösung selbst ist niemals ein rein physikalischer Vorgang, sondern gleichzeitig ein Process der Keimthätigkeit des Samens. Er kann in keiner Weise durch wasserentziehende Mittel rückgängig gemacht werden. In Bezug auf die einzelnen Stadien der Lösung lassen sich keine allgemeinen Gesichtspunkte aufstellen, sie treten bei jedem Samen in anderer Aufeinanderfolge ein.

Die wichtigeren Ergebnisse der in vorstehender Arbeit beschriebenen Untersuchungen lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Zu den Aleuronkörnern gehören nicht nur die, differenzirte Einschlüsse enthaltenden, geformten Proteïnsubstanzen des ruhenden Samens, sondern auch einschlussfreie Körner.

2. Eine Anzahl von Samen führen Aleuronkörner ohne irgend welche Einschlüsse.

3. Die Krystalloide sind in einer gesättigten Lösung von phosphorsaurem Natrium unlöslich.

4. Die Grundsubstanz und Hüllmembran und nach längerem Verweilen auch Globoide und Krystalle sind in einer gesättigten Lösung von phosphorsaurem Natrium löslich.

5. Von allen verdünnten Alkalien eignet sich zur Lösung der Krystalloide, Grundsubstanz und Membran am besten das Kalkwasser.

6. Zur Härtung der Aleuronkörner ist der Maceration in 2 % Sublimatalkohol eine solche in absolutem Alkohol vorzuziehen.

7. Durch Einquellen der ruhenden Samen kann höchstens nur eine Lösung der Grundsubstanz der in den Randpartieen gelegenen Aleuronkörner bewirkt werden; Krystalloide, Globoide und Krystalle werden durch Einquellen niemals gelöst.

8. Die Lösung der Globoide und Krystalloide ist ein Effect der Keimthätigkeit und fällt zusammen mit den Anzeichen der ersten Regungen der Lebensthätigkeit des Keimlings.

9. Die Bildung der Einschlüsse erfolgt nicht in Vacuolen, sondern frei im Zellinhalt, die Lösung dagegen theils innerhalb der Hüllmembran, theils nach erfolgter Lösung derselben.

10. Die in Bildung oder Auflösung begriffenen Krystalloide können durch wasserentziehende Mittel nicht auf ihre normale Gestalt gebracht werden.

Die vorliegende Arbeit wurde im pflanzenphysiologischen Institut der Königlichen Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin während des Sommersemesters 1888 angefertigt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem hochverehrten Leiter meiner Arbeit, Herrn Docenten Dr. A. Tschirch, für die mannigfachen Rathschläge, mit denen er mir fortdauernd zur Seite gestanden, an dieser Stelle meinen wärmsten Dank abzustatten.

Ebenso bin ich Herrn Professor Dr. Frank für die Ueberwachung meiner Studien und die so oft meinen Arbeiten geschenkte Theilnahme zu grossem Danke verpflichtet. In gleicher Weise erkenne ich die liebenswürdige Ueberlassung von Untersuchungsmaterial seitens des Herrn Professors Wittmack und der Verwaltung des Königlichen Botanischen Gartens dankbar an.

Figuren-Erklärung.

Tafel II.

Fig. 1—10 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Linum usitatissimum.

Fig. 1. Ein Aleuronkorn in Wasser betrachtet. a Membran, b Krystalloid, welches durch eine Längsspalte in zwei symmetrische Hälften getheilt ist, c Globoid, d Grundsubstanz.

Fig. 2, a—h zeigt die Einwirkung des Kalkwassers auf ein Aleuronkorn. Es wird zunächst die Grundsubstanz und später die Membran des Kornes gelöst (b). Erst dann beginnt die Einwirkung auf das Krystalloid. Im ersten Stadium quillt es etwas auf und büsst dadurch seine krystallinische Gestalt ein (b u. c), um die einer Kugel anzunehmen. Alsbald bilden sich Vacuolen (d u. e), die nach und

nach zu einer grösseren zusammenfliessen (f u. g). Die Membran ist nun nicht mehr im Stande, dem starken Turgor zu widerstehen, sie zerreisst, und die Lösung des Krystalloids vertheilt sich im Zellinhalt, während die Membran zu einem faltigen Häutchen zusammenfällt (h), welches dann auch später gelöst wird.

Fig. 3, a—e zeigt ein Aleuronkorn, dessen Krystalloid durch den Keimungsprocess eine gewisse Umwandlung erfahren hat. Dasselbe ist nun in Wasser von innen nach aussen bis auf einen breiten, mit Querrissen versehenen Ring, welcher allmählich zerfällt, löslich.

Fig. 4, a—e. Lösungsvorgang des Krystalloids während der Keimung des Samens. Die Hüllmembran ist straff gespannt, so dass die körnige Beschaffenheit der Grundsubstanz sichtbar wird (b u. c). Das Krystalloid geht allmählich innerhalb der Membran unter Bildung concentrischer Schichten (c) in Lösung über. (Siehe weiter Fig. 8 u. 9.)

Fig. 5. Entwickelung der Krystalloide im reifenden Samen. Sie bilden zuerst fast viereckige Ringe, welche oft an einer Stelle offen sind.

Fig. 6. Zelle des reifenden Samens mit drei fast vollständig ausgebildeten Aleuronkörnern.

Fig. 7. Vollständig ausgebildete Aleuronkörner in Oel liegend.

Fig. 8. Lösungsvorgang der Krystalloide während der Keimung des Samens. Die Krystalloide sind bereits innerhalb der Membran gelöst, die Globoide dagegen noch vorhanden.

Fig. 9. Im letzten Lösungsstadium befindliche Aleuronkörner mit Natriumphosphat behandelt. Der ganze Inhalt des Kornes ist bis auf die Globoide gelöst, Krystalloide waren also nicht mehr vorhanden.

Fig. 10. Lösungsstadien der Globoide. Es wird zuerst die breite, schon corrodirte Randzone gelöst, und dann entstehen in dem zurückbleibenden Kern vor Vollendung der Lösung concentrische Schichten.

Fig. 11—20 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Ricinus communis.

Fig. 11. Erstes Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Lösnng beginnt damit, dass die Grundsubstanz die ihr dargebotene Feuchtigkeit begierig aufnimmt, wodurch sie aufquillt und die sie umgebende, vorher schlaff und faltig anliegende Membran spannt, so dass jedes Korn jetzt eine annähernde Kugelgestalt mit fast glatter Oberfläche erlangt hat.

Fig. 12, a u. b. Weiteres Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Krystalloide beginnen innerhalb der Membran von aussen nach innen abzuschmelzen. Auch die Globoide werden allmählich verändert. Der sonst scharf umschriebene Rand wird schwach zackig, und die vorher homogene Masse hat eine körnige Beschaffenheit angenommen. (Siehe weiter Fig. 17 u. 14.)

Fig. 13, a—d. Aleuronkörner des ruhenden Samens unter Oel betrachtet. Es sind nur die Globoide sichtbar.

Fig. 14. Letztes Lösungsstadium der Krystalloide im keimenden Samen. Es sind deutliche concentrische Schichten vorhanden.

Fig. 15. Bildung der Aleuronkörner im reifenden Samen. Globoide und Krystalloide frei im Zellinhalt liegend.

Fig. 16. Weiteres Stadium der Bildung der Aleuronkörner. Globoide und Krystalloide haben bereits ihre vollständige Ausbildung erlangt, sind aber noch nicht von der Grundsubstanz umgeben.

Fig. 17. Lösungsstadium der Aleuronkörner des keimenden Samens. Die Globoide sind schon gelöst, die Krystalloide gespalten oder durchlöchert frei im Zellinhalt liegend.

Fig. 18, a — c. Einwirkung des Wassers bei einer Temperatur von 60° C auf die Aleuronkörner. Mit dem Steigen der Temperatur schreitet die Undurchsichtigkeit der Krystalloide von der Mitte anfangend bis zum Rande vor, das Krystalloid quillt auf und erfüllt das ganze ebenfalls gequollene Aleuronkorn als schwammige Masse (c).

Fig. 19. Einwirkung von heissem Glycerin auf die Aleuronkörner. Krystalloide und Globoide werden ausserordentlich schnell von aussen nach innen gelöst, das Korn nimmt Kugelgestalt an.

Fig. 20, a—e. Aleuronkörner des reifen Samens unter Oel betrachtet. Die Oberfläche ist noch gespannt, da die Grundsubstanz ihre normale Feuchtigkeit besitzt.

Fig. 21. Aleuronkörner von Ficus Carica unter Wasser betrachtet. Viele kleine Globoide sind kranzförmig um das Krystalloid gelagert.

Tafel III.

Fig. 1. Eine Zelle aus der sogenannten Kleberschicht von Triticum vulgare nach der Maceration in absolutem Alkohol in Wasser betrachtet. Die einzelnen Körnchen sind in ein zierliches Plasmanetz eingebettet, dessen Maschengewebe scharf hervortritt.

Fig. 2. Einwirkung von Natriumphosphat auf die in Alkohol macerirten Aleuronkörner einer Kleberzelle von Triticum vulgare. Die Körnchen sind vollständig gelöst, das zierliche Plasmanetz ist allein zurückgeblieben.

Fig. 3. Einwirkung von Wasser auf die in Alkohol macerirten Aleuronkörner einer Kleberzelle von Triticum vulgare. Es entstehen nur concentrische Schichten, niemals tritt vollständige Lösung ein.

Fig. 4. Inhaltsbestandtheile einer Endospermzelle von Carex livida. — s Stärke, a, b krystalloidartige Körper.

Fig. 5. Zelle aus dem Embryo von Carex livida mit Aleuronkörnern, jedes ein grosses Globoid enthaltend.

Fig. 6. Zellen aus dem Scutellum von Secale cereale mit Aleuronkörnern. In jedem Korn sind zahlreiche punktförmige Globoide enthalten.

Fig. 7. Aleuronkörner von Thuja officinalis. a in Wasser, b in Kalilauge liegend. Letztere löst die Krystalloide, so dass jetzt nur die Globoide vorhanden sind.

Fig. 8, a, c, f. Aleuronkörner aus dem Endosperm von Oenanthe Phellandrium. b frei liegende Krystalldruse mit Proteïnkern, d und e frei liegende Krystalloide.

Fig. 9. Zelle aus dem Scutellum von Zea Mais, a—f Stärkekörner, die übrigen Aleuronkörner und zwar mit sehr zahlreichen kleinen Globoiden.

Fig. 10. Zelle aus dem Scutellum von Triticum vulgare. Die Aleuronkörner enthalten sehr zahlreiche, punktförmige Globoide.

Fig. 11. Zelle aus dem Endosperm von Carum Carvi, die Localisirung der globoidführenden und krystallführenden Aleuronkörner zeigend.

Fig. 12. Aleuronkörner von Nigella damascena. Globoide zahlreich, scharf hervortretend.

Fig. 13. Zelle aus dem Keimblatt von Mucuna urens; a Aleuronkörner im Plasmanetz, b Stärkekörner.

Fig. 14. Zellen aus dem Endosperm von Daucus Carota, b u. c mit Aleuronkörnern, a mit Krystalldrusen.

Fig. 15. Zellen aus der Randpartie des Endosperms von Foeniculum officinale während der Keimung. Die Grundsubstanz der krystallführenden Aleuronkörner ist bereits gelöst.

Fig. 16. Zellen aus der sogenannten Kleberschicht von Trigonella foenumgraecum. a nach der Maceration in absolutem Alkohol in Natriumphosphat, b in Wasser und c nicht macerirt in Wasser betrachtet. Die erste Zelle zeigt das Plasmanetz, die zweite die polyëdrischen Aleuronkörner und die dritte den Zellinhalt mit Oeltröpfchen durchsetzt.

Fig. 17. Zellen aus dem Keimblatt von Trigonella foenumgraecum. a in Wasser, b in Natriumphosphat betrachtet.

Fig. 18. Zellen aus dem Keimblatt von Sinapis alba mit Aleuronkörnern, welche viele kleine Globoide enthalten.

Fig. 19. Zelle aus dem Endosperm von Crocus Asturicus mit Aleuronkörnern.

Fig. 20. Zelle aus dem Endosperm von Tilia parvifolia mit Aleuronkörnern.

Tafel IV.

Fig. 1. a Zellen aus dem Endosperm von Elettaria Cardamomum mit Aleuronkörnern, b zwei Zellen des Perisperms mit vielen kleinen Stärkekörnchen und je einem Kalkoxalatkrystall.

Fig. 2. Aleuronkörner von Hyoscyamus niger nach der Alkoholmaceration in Wasser liegend.

Fig. 3. Aleuronkörner von Hyoscyamus niger, nicht macerirt, in Oel betrachtet.

Fig. 4. Zelle aus dem Keimblatt von Lupinus polyphyllus mit Aleuronkörnern.

Fig. 5. Zelle aus dem Keimblatt von Arachis hypogaea. a Aleuronkörner, b Stärkekörner.

Fig. 6—9 beziehen sich auf die Aleuronkörner von Tiglium officinale.

Fig. 6. Zwei Aleuronkörner nach der Alkoholmaceration unter Wasser betrachtet. Sie enthalten mehrere Globoide und mehrere Krystalloide.

Fig. 7. Einzelne Krystalldruse, welche 24 Stunden in Natriumphosphat gelegen hat. Der Proteïnkern ist vollständig herausgelöst.

Fig. 8. Zelle aus dem Endosperm nach der Behandlung mit verdünnter Kalilauge. Es sind nur die kugeligen Globoide vorhanden.

Fig. 9. Zellen aus dem Endosperm mit Aleuronkörnern unter Oel betrachtet. In der Centralzelle eine Krystalldruse.

Fig. 10. Globoidsolitär von Vitis vinifera nach der Einwirkung von Natriumphosphat. Die Lösung schreitet, nachdem diejenige der Grundsubstanz

erfolgt ist, allmählich von aussen nach innen unter Bildung concentrischer Schichten vor. Die Randschicht tritt scharf hervor und documentirt sich durch ihre Widerstandsfähigkeit unzweifelhaft als zartes Hüllhäutchen, mit welchem das Globoid umgeben war.

Fig. 11. Aleuronkörner von Centaurea maculosa, theils Globoide, theils Krystalle enthaltend.

Fig. 12. Reproduction einer photographischen Aufnahme der Versuche A und B nach viertägigem Wachsthum der ausgesäten Samen. (Vergl. p. 107.)

Ueber die Cupula von Fagus und Castanea.

Von

Dr. Lad. Čelakovsky.

Hierzu Tafel V.

Die Cupula der echten Cupuliferen (Fagaceen) ist eines jener Pflanzengebilde, dessen morphologische Bedeutung und Zusammensetzung noch immer nicht in allem Detail aufgeklärt ist. Wie dies bei solchen problematischen Gebilden gewöhnlich, sind auch von der Cupula sehr verschiedene Erklärungen gegeben worden. Die älteste und anspruchsloseste ist wohl die, dass sie aus verwachsenen Blättern bestehe, ebenso wie die früher auch als Cupula bezeichnete Fruchthülle der Corylaceen, weshalb auch die letzteren in älterer Zeit unter den Cupuliferen eingereiht wurden. So z. B. bezeichnet Bischoff's Lehrbuch der Botanik die Cupula von Quercus als eine „aus verwachsenen dachigen Schuppen gebildete Becherhülle". Erst Schacht, der zuerst die Entwickelungsgeschichte der Eichencupula bekannt machte, deutete daraufhin die Cupula der „echten Cupuliferen" als ein Blätter producirendes Axengebilde. Die dritte von Eichler (in den Blüthendiagrammen II) herrührende Auffassung stützt sich auf den morphologischen Vergleich der Blüthencymen in beiden Geschlechtern und deren Uebergangsformen bei Castanea. Das Ergebniss seines Vergleiches war, dass die Cupulae von Castanea und Fagus von den vier Vorblättern der Secundanblüthen der Cyme gebildet werden, deren Schuppen daher blosse Excrescenzen darstellen; in Betreff der Eichencupula liess es Eichler unentschieden,

ob sie nicht etwa von den zwei völlig verschmolzenen Vorblättern der einzig vorhandenen Primanblüthe gebildet sei. Ich habe sodann[1]), als sich mir die erwünschte Gelegenheit darbot, abnorme mehrblüthige und mehrfach gespaltene Cupulae der Buche zu untersuchen, mit Hülfe derselben den Nachweis geliefert, dass die Cupula unmöglich aus den vier Vorblättern der Secundanblüthe gebildet sein kann, sondern in der That ein intercalares Axengebilde ist, welches seine Blätter auf der Aussenseite trägt und im Wesentlichen mit den Cupulargebilden in vielen Blüthen, mit dem Fruchtbecher der Feige u. dergl. vergleichbar ist. Mein Beweis gründete sich auf Folgendes: Die abnormalen Cupulae der Buche bilden nicht blos Secundanblüthen, sondern auch Tertian- und bisweilen sogar einzelne Quartanblüthen. Zugleich mit der Weiterverzweigung des Dichasiums erscheinen die vier Klappen der Cupula einmal, oder wenn Qartanblüthen gebildet werden, wiederholt zweispaltig. Also dieselben Klappen, welche beim Vorhandensein nur zweier Secundanblüthen einfach sind, treten beim Hinzukommen von Tertianblüthen zweispaltig auf und jeder Abschnitt derselben spaltet wieder, wenn Quartanblüthen angelegt wurden. Damit ist die Vorblattnatur der Klappen widerlegt. Denn wären die vier normalen Klappen Secundanvorblätter, so müssten sie auch beim Hinzukommen von vier Tertianblüthen bleiben wie sie sind, und es müssten entweder acht neue Klappen als Vorblätter der letzteren auf der Innenseite der Cupula auftreten, oder wenn etwa solche Vorblätter der Tertianblüthen wie im männlichen Dichasium der Kastanien unterdrückt würden, so könnte sich an der Beschaffenheit der vierlappigen Cupula nichts ändern. Es wäre doch eine geradezu absurde, morphologisch unstatthafte Annahme, dass das Auftreten von Blüthen höherer Grade anstatt der Bildung weiterer Tertian- und Quartanvorblätter eine sich wiederholende Zweitheilung der Secundanvorblätter zur Folge hätte. Vielmehr lässt die Betrachtung der mehrspaltigen Cupulae nicht verkennen, dass die weitere Zweispaltung der Klappen denselben Vorgang wiederholt und daher dieselbe Bedeutung und Ursache haben

1) O morfologickém vyznamu kupuly u pravych Kupulifer (Ueber die morphologische Bedeutung der Cupula bei den echten Cupuliferen). Sitzungsber. d. kgl. böhm. Ges. d. Wissensch., Sitzung vom 12. Nov. 1886. Referat im Botan. Centralblatt, Jahrg. VIII, 1887, No. 14.

muss wie die ursprünglichen Spaltungen in die vier normalen Klappen. Denn man überzeugt sich sofort, dass die Buchencupula nicht gleichmässig in ihre vier Klappen gespalten oder vorgezogen ist, sondern dass die medianen Spalten tiefer eingreifen als die transversalen, und diese wieder tiefer als die diagonalen (s. Taf. V, Fig. 2 und 5); man sieht also, das die Cupula zunächst in zwei laterale Theile gespalten ist, hinter denen die Secundanblüthen stehen, diese wiederum, etwas weniger tief, in Viertel getheilt, dann ebenso die Viertel abermals eingeschnitten, wenn Tertianblüthen hinter ihnen auftreten. Wären also die vier primären Klappen die Secundanvorblätter, so müssten die bei weiterer Zweitheilung entstehenden acht Lappen derselben bei consequenter Deutung die Tertianvorblätter sein, d. h. durch Spaltung der Secundanvorblätter würden die Tertianvorblätter gebildet, was offenbar absurd ist. Ich würde mich mit dieser auf der Hand liegenden Argumentation nicht so lange aufgehalten haben, wenn mich nicht ein alsbald zu erwähnender Einwurf Prantl's dazu gezwungen hätte.

Wenn aber hiernach die vier Klappen der Buchencupula in keiner Weise als Vorblätter bestehen können, so erübrigt nur die Möglichkeit, dass die Cupula ein Axengebilde ist, welches sich in Correlation mit der Blüthenzahl der Cyme wiederholt spaltet, wovon der Grund allerdings erst durch anderweitige Untersuchung aufzudecken ist. Für die axile Natur der Buchencupula spricht noch sehr deutlich der Umstand, dass die Tertianblüthen öfter, die Quartanblüthen fast allgemein auf den nur kurz gespaltenen Klappen resp. Klappenabschnitten bis zur Basis des Spaltes, also hoch hinauf gerückt erscheinen (s. Taf. V, Fig. 3).

Ferner wies ich in meiner citirten Abhandlung noch darauf hin, dass die untersten Schuppen der Cupula bei der Buche oftmals in Gestalt, Textur und Farbe durchaus mit den Niederblättern und besonders mit den Stipulae, die Schuppen der Eichencupula aber mit dem Deckblatt derselben übereinstimmen, was für ihre Blattnatur spricht und die Annahme von Excrescenzen hart erschüttern muss. Auch auf die Entwickelungsgeschichte der Eichencupula berief ich mich, welche zeigt, dass die ersten Schuppen auf dem Blüthenboden entstehen und erst die späteren auf der sich mittlerweile erhebenden Cupula, was ebenfalls mit Eichler's Deutung

schwer zu vereinigen ist. Dies alles beweist, sagte ich, dass die Cupula eine axile Erhebung um die Basis des Fruchtknotens und ihre Schuppen oder Stacheln wirkliche Blätter sind.

Ein Jahr später hat Prantl[1]) dasselbe Resultat bekannt gegeben. Prantl ging aus von der Gattung Pasania, deren Cupula im Bau mit jener von Quercus übereinstimmt, welche jedoch in ihrer Sect. Eupasania nicht einzelne Blüthen, sondern dichasische drei- bis fünfblüthige Gruppen weiblicher Blüthen in den Achseln der Bracteen besitzt, wobei jede einzelne Blüthe, sowohl die primane als auch die secundanen und eventuell auch die (zwei vornstehenden) tertianen, von einer eigenen Cupula umgeben wird. Da nun sowohl die Primanblüthe als auch die Secundanblüthen jede unterhalb der übrigen Schuppen ihrer Cupula ihre zwei Vorblätter besitzen und aus deren Achseln eben die Secundan- und Tertianblüthen ihren Ursprung nehmen, so ist es offenbar, dass hier weder die Priman- noch die Secundanvorblätter die Cupula der Primanblüthe bilden; daher die Cupula hier, so schliesst Prantl, nur eine Bildung der Blüthenachse sein kann. Weil nun aber von vornherein die Homologie der Cupula bei allen Gattungen der Fagaceen zu erwarten ist, so gilt das bei Pasania erhaltene Ergebniss auch für die anderen Gattungen.

Als weiteres Argument führt Prantl an, dass bei Fagus Sieboldi ein Theil der Cupularschuppen vollständig die Gestalt von Laubblättern annimmt. (Analog diesem war mein Argument, dass bei Fagus silvatica die unteren Schuppen die Beschaffenheit von Schuppen- oder Nebenblättern haben.) Endlich beruft sich auch Prantl auf die Entwickelungsgeschichte, und zwar auf die der Cupula von Castanea (nach Baillon), wo auch bereits vor Bildung der Cupula, und zwar hier schon vor und mit der Anlage der Blüthen einige Schuppenblätter gebildet werden.

Indem ich die Beweiskraft des von Pasania hergeholten Arguments gern anerkenne und als einen weiteren Beweis der Achsennatur der Cupula willkommen heisse, muss ich doch dagegen Einspruch erheben, dass Prantl meinen von der mehrspaltigen Buchen-

1) Engler, Bot. Jahrb.. VIII. Bd., 5. Heft, 1887: Beiträge zur Kenntniss der Cupuliferen, von K. Prantl.

cupula hergenommenen Beweisgrund nicht als vollgiltig lassen will, weil er „den Bildungsabweichungen nur den Werth zuzuerkennen vermag, dass sie eine auf vergleichendem Wege gewonnene Anschauung stützen können“, was, wie er sagt, für jene Buchencupulae Geltung haben könnte. Er führt dann aus, in welcher Weise diese Abnormitäten jene vergleichend gewonnene Anschauung stützen können — womit ich im Ganzen einverstanden bin —; aber, meint er zuletzt, wenn nicht seine oben angeführten Gründe (Pasania etc.) existiren würden, so würden jene Abnormitäten nichts gegen die Vorblattnatur beweisen, ja sogar zu deren Stütze dienen (!). Dieser letztere Ausspruch ist mir rein unbegreiflich, und es genügt, zu seiner Widerlegung auf das oben absichtlich so ausführlich Gesagte zu verweisen.

Was aber die gewohnte Aversion gegen die obigen Bildungsabweichungen betrifft, so will ich nur bemerken, dass die „Abweichung“ in weiter nichts besteht, als dass das Dichasium statt drei- (resp. zwei-) blüthig sieben- (resp. sechs-) blüthig wird, dass also eine Verzweigung in höhere Grade ähnlich wie bei Eupasania eintritt, und dass sich ebenso eine Spaltung in höheren Graden wiederholt, die schon früher normal vorhanden war, sowie bei Eupasania die Bildung derselben Cupula sich wiederholt, welche in den anderen Sectionen und bei Quercus einzeln vorkommt. Warum soll der Schluss von Eupasania auf die anderen Cupuliferen berechtigt und beweisend sein, aber der Schluss von der achtspaltigen auf die vierspaltige Cupula nicht? Wäre dieselbe achtspaltige und sechsblüthige Cupula bei einer Buchenart oder auch in einer anderen Gattung constant, dann wäre der Schluss auf die Cupula der gemeinen Buche beweiskräftig, weil er „vergleichend gewonnen“ wäre, aber wenn dieselbe Erscheinung als eine seltene Variation (und das heisst „abnorm“) bei derselben Art auftritt, welche auch die vierspaltige Cupula producirt, dann ist der Beweis nicht genügend, und die darauf gestützte Auffassung, ist sie nicht auch auf vergleichendem Wege gewonnen? Ich denke im Gegentheil, dass der Schluss von einer Variation bei derselben Art, an demselben Organismus eher noch sicherer ist als der Schluss von einer Variation, die in einer anderen Art oder gar Gattung sich gebildet hat und dort constant und „normal“ geworden ist. Darum glaube ich mit vollem

Rechte sagen zu können, dass die abnorme mehrspaltige Buchencupula ein wenigstens ebenso beweiskräftiges Argument für die Achsennatur der Cupula liefert wie der verzweigte Cupularspross der Sect. Eupasania.

Mit diesem Nachweis ist die Cupula der Eichen (Quercus und Pasania) in der Hauptsache vollständig erklärt, nicht aber die der Buchen und Kastanien. Prantl selbst giebt zu, dass es noch festzustellen sei, welches die Trag- und Vorblätter der Seitenblüthen von Fagus und Castanea sind. Ausserdem ist es unerklärt, was die Vertheilung der Blätter in vier Quadrantenfeldern bestimmt, mit welcher Vertheilung auch das Aufspringen mit vier Klappen zusammenhängt, und was die Bedeutung und Ursache der ursprünglichen Vierlappigkeit der Cupula bei Fagus und Nothofagus, sowie der in der „Bildungsabweichung" auftretenden fortgesetzten Spaltung der vier Primanklappen der Buche beim Einsetzen von Tertian- und Quartanblüthen ist.

Die nächstliegende Auffassung der Cupula von Castanea und Fagus wäre die, welche sie der Cupula von Quercus vollkommen homolog setzen, d. h. gleich dieser als blätterbildende Wucherung der Primanachse betrachten würde. Während bei Pasania die dichasiale Verzweigung aus der Achsel der zwei untersten Vorblätter stattfindet, in Folge dessen jede Seitenblüthe eine eigene Cupula bildet, so würde bei Castanea und Fagus die dichasiale Verzweigung erst über den gesammten Blättern der Cupula stattfinden, womit sich die Gemeinsamkeit der einen Primancupula für alle Blüthen erklären liesse, und müssten die Trag- und Vorblätter der Seitenblüthen, die man dann über der Cupula dicht unter den Blüthen erwarten würde, als ablastirt gelten. In der weiteren Gattung Castanea wäre die § Castanopsis die ursprüngliche (Prantl hält sie auch dafür), da ihre Cupula gleich jener der Eichen geschlossen bleibt oder nur unregelmässig aufspringt. In der Sect. Eucastanea wäre dann ein Auseinanderweichen der Querzeilen an vier Quadrantenmeridianen und Bildung von vier regelmässigen Dehiscenzstreifen in denselben eingetreten. Dazu würde Prantl's Ausspruch passen, dass Eucastanea die Viertheiligkeit der Cupula nach Castanopsis folgend vielleicht erst erworben hat. Bei Fagus und Nothofagus wäre dann die Viertheiligkeit weiter fortgeschritten, was sich in Correlation mit der Drei-

kantigkeit der Früchte, für deren Flügelkanten damit Raum geschaffen wurde, setzen und damit einigermaassen erklären liesse. Freilich wäre damit die Vierzahl der Klappen noch nicht erklärt. — Das war etwa die Ansicht, die ich mir zur Zeit meiner ersten, oben citirten Mittheilung gebildet hatte. Betreffend die Vierzahl der Klappen und ihrer Längszeilen von Querreihen der Blätter war es mir wahrscheinlich, dass sie sich aus der Zweizeiligkeit der vegetativen Knospenblätter resp. aus der Vierzeiligkeit der paarweis zusammengehörenden Nebenblattschuppen in der Knospe (s. Eichler l. c. II., Fig. 9 und 10) herleiten liessen.

Freilich verhehlte ich mir von allem Anfang an nicht und empfand es peinlich, dass dieser durch ihre Einfachheit sich empfehlenden Auffassung ein sehr wesentliches Moment entgegensteht, nämlich die Eichler'schen Uebergänge zwischen der normalen Cupula der Kastanie und den männlichen Dichasien, namentlich der Uebergang, den ich in Fig. 14 copirt habe, ebenderselbe, durch welchen Eichler hauptsächlich bestimmt wurde, die Cupula als aus den vier verschmolzenen Vorblättern der Secundanblüthen zusammengesetzt aufzufassen. Diese Figur zeigt nämlich die Cupula um die männlich und siebenblüthig gewordene Cyme ausser den beiden Vorblättern auf vier Gruppen von Schuppenblättern reducirt, welche dieselbe (diagonale) Lage wie die vier Cupularklappen einhalten. Diese vier Gruppen erscheinen zuletzt in normalen männlichen Dichasien auf vier einzelne Schuppenblätter reducirt, welche offenbar die Vorblätter der Secundanblüthen und die Deckblätter der Tertianblüthen sind. Eichler schloss daraus, dass die vier Vorblätter als letzter Rest der vier Cupularklappen mit diesen selbst homolog seien, er übersah aber dabei, dass die Klappen seiner eigenen Zeichnung zufolge in der Fig. 14 ja bereits ganz geschwunden waren, d. h. sich gar nicht mehr erhoben hatten und dass dort nur eine reducirte Zahl von Schuppen übriggeblieben war, unter welchen sich also jene Vorblätter befinden müssen, die bei weiterer Reduction allein gebildet werden. Da nun die Anlage der Schuppen auf der Cupula in streng acropetaler Folge vor sich geht, so muss die Reduction umgekehrt von oben nach unten fortschreiten, d. h. die äussersten vier Schuppen in den vier serialen Gruppen müssen es sein, welche von der ganzen Reihe zuletzt übrig bleiben, und diese sind es also

und nicht die bereits nicht mehr vorhandenen Cupularklappen, welche den Vorblättern der Secundanblüthen homolog erscheinen. Freilich steht noch ein kleines Bedenken entgegen, nämlich dass in der Fig. 14 nur in einer Gruppe, links vorn, zu äusserst ein einziges Schuppenblatt steht, in den anderen drei Gruppen jedoch zwei kleinere Schuppenblätter neben einander. Die Identificirung der vier Secundanvorblätter mit den vier äussersten Schuppen der vier serialen Gruppen könnte zunächst durch diesen Umstand in Frage gestellt werden. Wenn wir aber diesen Punkt, dessen Aufklärung sich später ergeben wird, vorläufig als erledigt betrachten, so nöthigt der Vergleich der männlichen und weiblichen Dichasien mit Beachtung der Uebergangsformen dazu, die Vorblätter der weiblichen Secundanblüthen unten an der Basis der Cupula gerade über den zwei seitlichen Vorblättern der ganzen Cupula zu suchen und diese letzteren für die Deckblätter jener Secundanblüthen anzusehen.

Dies zugegeben, wäre die weitere Consequenz die, dass die Cupula der Kastanie (und Buche) nicht allein von der Primanachse gebildet sein kann, dass sie also hiernach nicht vollkommen homolog ist mit der Cupula von Quercus und Pasania. Ich konnte mich vordem zu dieser Consequenz nicht entschliessen und verschob die Entscheidung bis nach einer Nachuntersuchung der intermediären Dichasien der Kastanie, welche vielleicht noch neue Momente ergeben würde. Ich fand jedoch bei einer späteren Untersuchung nichts anderes, als was Eichler gesehen hatte, nur konnte ich mich überzeugen, dass die Schuppen der intermediären Dichasien von der Art der Fig. 14 mit den Vorblättern in den normalen männlichen Blüthengruppen völlig übereinstimmen.

Dagegen hat Prantl seine Ansicht von der Kastaniencupula in der That darauf gegründet, dass er die Deckblätter und Vorblätter der Secundanblüthen bestimmt als aussen am Grunde der gemeinsamen Cupula befindlich postulirte. Dazu bestimmte ihn aber nicht so sehr der Vergleich der Eichler'schen Uebergangsreihe, als vielmehr der Vergleich mit § Eupasania. Er nimmt als unzweifelhaft an, dass die weibliche Cyme der Kastanie ihre Priman- und Secundanvorblätter ebendort haben müsse, wo sie die weibliche Cyme von Eupasania besitzt, das ist also am Grunde der gemeinsamen Cupula.

Doch ich lasse Prantl selbst sprechen: „Hiernach (d. h. nach der für Quercus und Pasania gegebenen Auffassung der Cupula) wären sämmtliche Schuppen und Stacheln der Cupula von Castanea wirkliche Hochblätter, von denen ein Theil in normalem Zeitverhältniss zu den Blüthen entsteht; welche dieser letzteren die Trag- und Vorblätter der Seitenblüthen sind, bleibt noch festzustellen. Die Bildung von Hochblättern, welche vielleicht hier schon an der Primanachse vor ihrer Verzweigung vermehrt ist, setzt sich intercalar an den Achsen der Seitenblüthen (nicht an der Primanblüthe) fort, aber nicht allseitig, sondern nur zu beiden Seiten; die Achse erhebt sich in entsprechender Weise und umschliesst die Blüthen und Früchte."

Wenn ich diese nicht im Einzelnen ausgeführte Darstellung richtig verstanden habe, so ist die Meinung die, dass die Cupula von Castanea aus zwei von den Achsen der Secundanblüthen gebildeten, zu den zwei Primanvorblättern axillären, unvollständigen, gleichsam halbirten, die Secundanblüthen „nicht allseitig, sondern nur zu beiden Seiten umgebenden", in der Mediane mit einander verschmolzenen Cupulae besteht, welche ihrerseits wieder jede an der Basis ihre zwei Vorblätter und darüber die übrigen „Hochblätter" tragen. Die Achse der Primanblüthe ist hiernach an der Bildung der Cupula nicht weiter betheiligt, da sie nur die zwei Vorblätter zu bilden hat. Die Provenienz der vier Klappen der Buchencupula, die Spaltung der Kastaniencupula zur Reifezeit, die Anordnung ihrer Stacheln auf vier Quadranten und ihre erste Anlage mit vier getrennten „halbmondförmigen Wülsten" erklärt Prantl nicht weiter; er sagt diesbezüglich nur: „die auffallendste Erscheinung bei Castanea bleibt die von Anfang an in getrennten Partieen erfolgende Bildung der Cupula, eine Erscheinung, die sich in gleicher Weise bei Fagus und Nothofagus wiederholt."

Ueber die mehrspaltigen Buchencupulae äussert sich Prantl im Zusammenhange mit seiner Auffassungsweise also: „Sind bei Ausbildung von vier Tertianblüthen acht Cupularklappen vorhanden, so erblicke ich hierin einen weiteren Schritt in der von Nothofagus antarctica mit einer Blüthe und zwei Klappen zu den übrigen Arten mit drei Blüthen und vier Klappen fortschreitenden Reihe; diese acht Klappen ständen alsdann ebenso vor den Vorblättern der

Tertianblüthen, wie sie bei der Buche normal vor den Secundanvorblättern, bei Nothofagus antarctica vor den Primanvorblättern stehen."

Diese angezeigte Reihe ist allerdings sehr ausgesprochen. Dass die Spaltung in acht Lappen kein neuer Vorgang ist, sondern dass sich dabei derselbe Vorgang wiederholt, dem schon die vier normalen Lappen ihr Dasein verdanken, war auch von Anfang an meine Ansicht, und eben deshalb ist auch nicht abzusehen, warum die „Bildungsabweichung" in gewohnter Weise misstrauisch aufgenommen werden sollte. Dabei wird aber die Achtspaltigkeit im Grunde nicht verständlicher, wenn sie mit der ebenfalls noch dunklen Vierspaltigkeit und Zweitheiligkeit erläutert wird, davon abgesehen, dass die Vorblätter noch nicht einmal für die vier normalen Klappen sicher nachgewiesen sind.

Im Allgemeinen hat aber die Prantl'sche Auffassung der Cupula von Castanea und Fagus vor meiner früheren unleugbar den grossen, ja entscheidenden Vorzug, dass sie mit dem Ergebniss der Eichler'schen Uebergangsformen im Princip (obzwar in der Ausführung nicht ganz, wie wir sehen werden) wohl übereinstimmt; wenn dann der Befund bei Pasania auch damit harmonirt, um so besser. Jedoch muss ich in Betreff der diese Auffassung erweisenden Methode bemerken, dass der Vergleich mit Eupasania für sich allein nur einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit, aber keine volle Gewissheit bietet, denn es wäre immerhin möglich, dass bei Castanea die dichasiale Verzweigung am Gipfel des die Cupula bildenden Sprosses, und bei Pasania am Grunde desselben stattfindet. Dem Vergleich mit Pasania kann ich daher nur den Werth zuerkennen, dass er eine durch Vergleich der Uebergangsformen gewonnene Auffassung zu stützen vermag. Diese Uebergangsformen, die bei derselben Pflanze vorkommen, sind aber bei morphologischen Deutungen schwieriger verständlicher Gebilde immer vom höchsten Werthe, und eben deshalb schätze ich Abnormitäten, die klare Uebergangsreihen zur Verwerthung der vergleichenden Methode bieten, viel höher als viele andere Botaniker. Die Uebergangsformen zwischen männlichen und weiblichen Cymen der Kastanie sind fast schon Abnormitäten gleich zu halten, und sie würden gewiss dafür gelten, wenn das Geschlecht sonst so scharf wie bei der Eiche getrennt

wäre, und die Uebergänge nur selten, unter gewissen Umständen (und das ist eben abnorm) angetroffen würden, woraus sich wieder ergiebt, wie relativ der Unterschied des Normalen vom Abnormalen oft ist, und wie sehr mit Unrecht dem Letzteren ganz allgemein die Beweiskraft des Normalen abgesprochen wird. Bei der Kastanie geben die Uebergangsformen directen Aufschluss über die Cupula derselben, während der Vergleich mit Pasania doch entfernter liegt und darum nicht völlig überzeugen kann.

Mit Rücksicht auf die intermediären Cymen bei der Kastanie und in zweiter Reihe auf die Dichasien von Eupasania schliesse ich mich nunmehr im Princip der Auffassung Prantl's an, jedoch mit der alsbald zu begründenden Modifikation, dass ich die Cupula der Buche und Kastanie nicht nur aus zwei, sondern aus vier unvollständigen Cupulis, welches eben die Klappen sind, zusammengesetzt halten muss. Ferner habe ich mir die Aufgabe gestellt, die Secundanvorblätter (eventuell bei der Buche auch die Tertianvorblätter) aufzuweisen, welche Prantl zwar postulirt hat, aber weder für die Kastanie noch für die Buche feststellen konnte, denn er sagt: „Bei der Kastanie lassen sich die Vorblätter, wie sie für ein drei- oder mehrblüthiges Dichasium zu erwarten sind, kurz vor und während der Blüthezeit nicht mit Sicherheit eruiren, denn es folgen auf die beiden Primanvorblätter kleinere Schuppen in grosser Anzahl; auch am Grunde der Cupula von Fagus Sieboldi finden sich in anscheinend nicht bestimmter Anzahl Schuppen von der Beschaffenheit der Nebenblätter, ebenso wie die in ihrer Deutung noch unsicheren gewöhnlich vier „involucrirenden Schuppen“ bei F. silvatica.“

Ich habe die Cupulen der Buche und Kastanie erst nach der Blüthezeit, Ende Juli und August, studiert, wo die Verhältnisse in günstigen Fällen beinahe klarer liegen, als vor oder zur Blüthezeit. Bei der Buche, von der ich ausgehen werde, fand ich an manchen Cupulae die zwei Primanvorblätter und die vier Secundanvorblätter, letztere noch öfter wohl erhalten und deutlich erkennbar. Die Primanvorblätter sind immer tief am Grunde der Cupula, dort wo sie schon stark verschmälert ist und in den Stiel übergeht, inserirt (Taf. V, Fig. 1. 2. a). Sie müssen sehr hinfällig sein, denn ich

fand zur angegebenen Zeit nur die nach ihnen hinterbliebenen Narben als braune, quer oder oft schief oder bogig verlaufende Linien. Oefter waren diese Narben sehr schmal (Taf. V, Fig. 1. a links). Die zu diesen Narben gehörigen, jedenfalls gleich den Secundanvorblättern dünnhäutig schuppenartigen Vorblätter sind vielleicht schon zur Blüthezeit abgefallen oder im dichten Filz der Cupula wenig bemerkbar. Eichler beobachtete die Primanvorblätter bei der Buche nicht, er giebt sie in seinem Diagramm Fig. 10 E nur theoretisch mit punktirten Linien an, zum Zeichen, dass er sie für ganz abortirt ansah. Es ist auch nicht unwahrscheinlich, dass dies öfter oder an gewissen Sorten allgemein geschieht; darauf deutet es wohl hin, dass ich bei der var. asplenifolia, die mir vorzugsweise die mehrspaltigen Fruchtbecher geliefert hat, überhaupt niemals eine Narbenspur der Primanvorblätter bemerken konnte.

Die vier Secundanvorblätter sind im Juli als braune, trockenhäutige, zwar meist noch vorhandene, doch leicht abfallende lineal-lanzettliche Niederblätter, vollkommen von der Beschaffenheit der Stipulae an den Laubblättern ausgebildet. Die Basis jedes Vorblatts ist in einer mehr oder weniger steil gegen die vorn und hinten gebildete Rinne der Cupula ansteigenden und oftmals sehr langen Insertionslinie als niedriger, beiderseits sich verlierender Saum ausgezogen (Taf. V, Fig. 1. b). Gewöhnlich aber sind die vier Secundanvorblätter in mehrere schmale, auf der gemeinsamen Insertionslinie stehende Schuppen zertheilt (Taf. V, Fig. 2. b). Diese Zertheilung erfolgt wenigstens theilweise durch mechanisches Zerreissen der ursprünglichen vier Blätter in Folge der starken Ausdehnung der Insertionslinie an dem im Umfange wachsenden Achsentheil, wie es deutlich in Fig. 1. b links zu sehen ist. Ohne Zweifel sind die vier Vorblätter mit den vier „involucrirenden Schuppen“ der jungen Cupula identisch. Sie sind, nach Eichlers Abbildung zu schliessen, wohl ursprünglich neben einander horizontal inserirt; indem aber dann die beiden lateralen Hälften der Cupula nebst dem die Blüthen tragenden centralen Axentheil sich strecken, werden sie an ihren den Medianrinnen anliegenden Rändern emporgehoben, während die seitlich einander zugekehrten Randtheile der Vorblätter jeder Cupularhälfte in tieferer Position zurückbleiben.

Diese auffällige, durch die schiefe Insertion der Secundanvor-

blätter angezeigte ungleiche Streckung der Cupula erklärt sich dadurch, dass die medianen Rinnen die Vereinigungs- oder Verschmelzungsstellen zweier lateralen halbseitigen, zu den beiden Secundanblüthen gehörigen und zu den primanen Vorblättern axillären, an ihren Rändern anders als in ihrer Mitte wachsenden Cupulae bedeuten. Die genannten Rinnen ziehen sich von den medianen Spalten bis auf den median abgeflachten Stiel der Cupula herab (Fig. 1, 2), so dass hierdurch schon für die einfache Betrachtung der Anschein entsteht, als wären dort zwei Cupulae bis zur Spaltungsstelle mit einander verwachsen. Jede dieser beiden Cupulae bildet ihre zwei Vorblätter, die nach dem, was die intermediären Cymen der Kastanie lehren, zugleich die Vorblätter der zwei Secundanblüthen sind und ursprünglich wohl mit diesen in gleichem Niveau stehen, obwohl sie dann, wenn der centrale Axentheil sich streckt, besonders mit ihren der Mediane jeder Specialcupula zugekehrten Rändern tiefer abgerückt erscheinen.

Jede der beiden lateralen Cupulae ist nun wieder durch weniger tief einspringende transversale Spalten in 2 Lappen getheilt, und da findet man unterhalb jeder die beiden Lappen trennenden Bucht wiederum 2 im Bogen nach abwärts aus einander weichende Schuppenblätter (Taf. V, Fig. 2. c), die manchmal noch in mehrere, auf einer deutlichen Insertionsspur sitzende schmale trockenhäutige Schuppen gleich den Secundanvorblättern b zertheilt sind, manchmal aber schon ganz in eine Reihe völlig gesonderter, dann schon mehr starrer, dicklicher, den nachfolgenden Weichstacheln ähnlicher Schuppen aufgelöst sind. Auf den Cupularklappen stehen dann nicht mehr so deutliche Querreihen von Weichstacheln, zwischen denen sich keine sie verbindende Blattspur mehr nachweisen lässt.

Ich muss bemerken, dass ich die Schuppenblätter a b c, von denen bisher die Rede war, nur auf den Fruchtbechern der gewöhnlichen ganzblättrigen Form der Waldbuche so schön zu sehen bekam, während auf denen der schmal- und schlitzblätterigen Abart asplenifolia die Spuren der primären Vorblätter a überhaupt nicht sichtbar waren und an Stelle der Blätter b und c nur gewöhnliche isolirte Weichstacheln ohne herabgezogene Blattspur oder ohne irgend welche basale Vereinigung sich befanden, so dass diese Cupulae zum Nachweise besonderer Vorblätter ganz untauglich gewesen wären.

Natürlich beweisen sie nichts gegen das, was die früheren Cupulae so deutlich gezeigt haben, nur sind an ihnen die Verhältnisse undeutlich geworden.

Eines aber geht aus dem Vergleiche dieser verschiedenen Cupulae mit voller Klarheit hervor, dass nämlich die einzelnen Blätter mit breiter Basis durch eine Reihe von schmalen Schuppen oder Weichstacheln ersetzt werden können. Von den ungetheilten Vorblättern b in Fig. 1 durch die in eine Reihe noch zusammenhängender Schuppen aufgelösten Vorblätter b in Fig. 2 bis zu den Querzeilen gänzlich isolirter Weichstacheln führt eine zusammenhängende Reihe. Die Aequivalenz dieser Gebilde bezeugen noch besonders jene Fälle, in denen dieselben Blätter b und c durch eine Zeile von Weichstacheln repräsentiert sind. Dieselbe Erscheinung werden wir auch bei der Kastanie kennen lernen, wo ich noch eine genauere Erklärung derselben geben werde. Zu bemerken ist nur, dass die unteren Schuppen, also die Vorblätter, noch öfter ungetheilt oder in eine zusammenhängende Reihe aufgelöst auftreten, während im oberen Theile der Cupula nur mehr Querzeilen getrennter Weichstacheln gebildet werden, und dass die Cupula mit deutlichen Vorblättern immer zur Basis allmählich stark verschmälert war, während jene, auf denen statt häutiger Vorblätter nur Weichstacheln sich befanden, dort noch breit und darunter in den Stiel plötzlicher zusammengezogen erschien, woraus sich auch noch über den Grund jener Verschiedenheiten eine Vermuthung ableiten liesse.

Bevor ich an die endliche Lösung der Frage gehe, was die 4 Klappen eigentlich bedeuten, welche in der That, wie Prantl sagt und wie es schon Eichler's Fig. 10 E in Blüthendiagr. II darstellt, vor (beziehungsweise hinter) den 4 Secundanvorblättern (den involucrirenden Schuppen) stehen, wende ich mich erst noch zur Cupula der Kastanie.

Die Cupula der Kastanie unterscheidet sich von der Buchencupula zunächst dadurch, dass sie bis oben zu den hervorragenden Perigonen und Narben der Blüthen geschlossen ist und erst später bei der Fruchtreife in 4 zwischen den Stacheln gelegene schmale Furchen sich spaltet. Nur am Gipfel ist sie in 4 kurze, schwach ausgerandete Läppchen vorgezogen (Fig. 6), welche aber ihrer Lage nach nicht den diagonal gestellten 4 Klappen entsprechen, sondern

median und lateral gestellt sind, so dass die 2 lateralen den Secundanblüthen, die medianen beiderseits der Primanblüthe anliegen. Dies gilt für das im Juli, August zu beobachtende Stadium. Nun aber entstehen nach Baillons Darstellung der Entwickelungsgeschichte vier halbmondförmige Wülste als erste Anlage der Cupula in diagonaler Stellung, und wenn dann unter ihnen der grösste untere Theil der Cupula als geschlossener Sack sich erhebt, so sollten hiernach die vier Läppchen an der erwachsenen Cupula ebenfalls diagonale Stellung haben. Da dies nun nicht der Fall ist, so muss angenommen werden, dass die vier ursprünglichen Wülste später 2lappig werden und dass die ursprünglichen Einschnitte zwischen ihnen später nur als seichte Ausrandung an den 4 Läppchen der erwachsenen Cupula erscheinen. Diese 4 Läppchen müssen beim Aufspringen der Fruchthülle ebenfalls gespalten werden und die 4 Klappen an der Spitze kurz zweizähnig aussehen.

Die Anordnung der Schuppen und Stacheln auf der Cupula hat schon Eichler kurz also geschildert: „Unten, wo sie breiter, fast blattartig sind, umgeben sie wohl die Cupula rundum; oberwärts aber ziehen sie sich von den die Grenzen der „Vorblätter“ (d. h. der späteren Klappen) bezeichnenden Furchen zurück und bilden so 4 dreieckige, am Gipfel spitz auslaufende Gruppen auf dem Rücken der „Vorblätter“ (Klappen), innerhalb jeder Gruppe in nicht sehr deutliche Querzeilen angeordnet.“ Dazu bemerkt Eichler, diese Disposition spreche dann auch noch für ihren Emergenzcharakter.

Die Schuppenblätter der Kastaniencupula sind grün, derb, blattartig oder stachelartig, dauernd, niemals trockenhäutig (wie es die unteren bei Fagus so häufig sind). Die 2 lateralen Primanvorblätter sind immer deutlich entwickelt, zwei breite Schuppenblätter, welche aber selten ganz sind, sehr oft dagegen gezähnt oder tief gespalten, ja sogar in beinahe selbständige, am Grunde kaum noch zusammenhängende schmale Abschnitte zertheilt auftreten (Taf. V, Fig. 8, 9). Die beiden Vorblätter sind auf der Vorderseite der Cupula zusammengeschoben, hinten von einander mehr entfernt, so wie dies auch unter den männlichen Dichasien der Fall ist. Wenn sie nun auf der Vorderseite in zertrennte Abschnitte zertheilt erscheinen, wie in

Fig. 8, so ist man ohne frühere Orientierung versucht zu glauben, dass hier ein ganzer Kreis von Blättern vorhanden ist.

Auf diese Vorblätter folgt nun ein die Cupula rings umgebender Kreis von oft noch durchaus schuppenartigen, öfter aber auch theilweise schon stachelartigen verzweigten Blättchen (Taf. V, Fig. 6, 7 b). Dieser scheinbare Kreis ist aber vorn und hinten in der Mediane der Cupula emporgezogen. Man bemerkt indessen bald, dass der Kreis eigentlich aus zwei den Vorblättern superponirten Blattzeilen besteht, deren randständige in der Mediane der Cupula am höchsten emporgezogene Blättchen breiter schuppenförmig sind. Hierauf folgen bereits 4 Querzeilen, welche im Bogen jederseits theils gegen die Mediane theils gegen die Transversale verlaufen, meistens schon ganz aus Stachelblättern bestehen, mit Ausnahme der randständigen in den vier Rinnen von jeder Seite zusammentreffenden, also zu zwei stehenden Blättchen, welche immer schuppenförmig gebildet sind (Taf. V, Fig. 6, 7 c). Ueber diesen vier Querzeilen folgen dann die übrigen, ebenso bogenförmigen und aus ebensolchen Blättchen bestehenden Querzeilen, immer vier im gleichen Niveau, die obersten bedeutend steil ansteigend und mit den Rändern sich zum Gipfel der Cupula hin immer mehr entfernend, so dass die vier Rinnen sich nach oben wieder erweitern, die Blattgruppen auf den Quadranten also sich verschmälern. Zum Unterschiede von der Buchencupula, bei der die Blätter bis an den oberen Rand der Klappen gehen, ist bei der Kastanie der oberste halsartig verschmälerte Theil der Cupula nackt, blattlos. Die Querzeilen auf den Quadranten der Kastanie sind auch viel deutlicher, regelmässiger als auf den Klappen der Buchencupula.

Wo sind nun die vier Secundanvorblätter, die unmittelbar auf die zwei Primanvorblätter folgen sollen? Es scheinen keine vorhanden zu sein und doch sind sie nicht nur wegen der Analogie mit Fagus[1], sondern noch sicherer nach dem Zeugniss der Uebergangsformen zwischen männlichen und weiblichen Dichasien der Kastanie selbst zu erwarten.

Wenn man erwägt, dass schon die primanen Vorblätter häufig in schmale, anscheinend selbständige Abschnitte getheilt auftreten, so liegt es nahe, auch in den folgenden queren Blattzeilen Aequivalente von zertheilten Blättern zu erkennen. In der That wird diese, auch

schon durch den Vergleich mit Fagus sich aufdrängende Annahme durch mehreres bestätigt. Namentlich in den zwei untersten Reihen b hängen die schmalen einnervigen Schuppen und die dazwischen stehenden verzweigten Stacheln am Grunde noch durch eine niedrige Membran oder Leiste zusammen. In Fig. 10 sind mehrere solche schmalen Schuppen dargestellt, zwischen ihnen aber eine breitere Schuppe von flossenartiger Gestalt, aus mehreren dickeren nervenartigen Streifen, zwischen welchen eine dünnere Blattmembran schwimmhautartig ausgespannt ist, bestehend. Es ist hier eben noch eine grössere unzertheilte Partie des Blattes stehen geblieben, die Streifen haben sich nicht gesondert gebildet. Auch die sehr ungleiche Gestalt und Grösse, wie auch die ungleiche Entfernung dieser Schuppen, wie in Fig. 11, spricht dafür, dass es nur Segmente eines zerlegten breiteren Urblattes sind. Doch deutet hier nichts auf eine spätere Zerreissung (wie sie bei den vier Vorblättern von Fagus sich manchmal nachweisen lässt): die Ränder der schmalen Schuppen sind glatt, auch folgen ja nach Baillon entwickelungsgeschichtlich auf die Primanvorblätter gleich kleinere Schuppen in grosser Anzahl. Die Spaltung ist offenbar eine frühzeitige, genetische, welche unter den Begriff der Chorise oder des Dedoublement fällt. Das Dedoublement ist auch in den Blüthen nichts anderes als eine entwickelungsgeschichtlich oder phyllotaktisch nachweisliche Vermehrung der ursprünglichen Glieder eines Kreises, welche in der Weise geschieht, dass an Stelle eines Phylloms ihrer zwei oder mehrere gebildet werden, oder dass das ursprünglichere Phyllom sehr frühzeitig in ihm gleiche Theile zerfällt wird. Das Dedoublement ist der Uebergang von der Minderzähligkeit zur Mehrzähligkeit eines Kreises oder Cyklus. So bildet auch der zweite Kreis b an der Kastaniencupula den Uebergang von dem noch oft deutlich minderzähligen (2zähligen) Cyklus a zu den schon vollkommen getrennt vielzähligen Zeilen auf den vier Quadranten. Auch auf der Eichencupula herrscht Vermehrung der Glieder in den Cyklen (denn die vegetativen Knospen und Sprosse sind nur 5zeilig, nach $^2/_5$), aber bei dieser kommt ein Uebergang als Dedoublement nicht vor. Die Ursache der Mehrzähligkeit auf der Cupula ist offenbar die beträchtliche Ausbreitung der Achse. Diese bewirkt bei der Buche, wo die vier Vorblätter oft noch einfach angelegt werden, die Streckung ihrer Blattbasen und Zerreissung in

schmale Theile, bei der Kastanie ist die Theilung der auf die zwei Vorblätter folgenden Blätter schon ursprünglich, genetisch (congenital).

Die Eichler'sche Fig. 14, Taf. V bestätigt das Dedoublement der Cupularschuppen. Dort sind nämlich die Secundanvorblätter b bis auf das eine in der Gruppe links stehende, wie schon früher bemerkt wurde, durch zwei kleinere Schuppen ersetzt, also dedoublirt; die inneren Schuppen der vier Gruppen sind aber bereits einfach, während sie auf den Cupularklappen durch Querreihen zahlreicher Stacheln vertreten werden. Mit dem Schwinden der Cupula und der Reduction der Querzeilen unterbleibt das Dedoublement oder wird stark eingeschränkt.

Der Vergleich derselben Fig. 14 mit der normalen Kastaniencupula zeigt ganz klar, dass die vier Secundanvorblätter der männlichen Dichasien dem dedoublirt vermehrten zweiten Kreise b auf der Cupula entsprechen, dass also jede der beiden Querzeilen desselben aus zwei ursprünglichen, jedoch dedoublirten und mit ihren Gliedern in einer scheinbaren Zeile zusammenfliessenden Vorblättern besteht. Das ist auch gar nicht unwahrscheinlich, wenn man sich des Zusammenfliessens der zwei zertheilten Vorblätter a (Taf. V, Fig. 9) auf der Vorderseite der Cupula erinnert. Einen direkteren Nachweis bildet aber folgender Umstand. Wir sahen, dass die auf den Klappen stehenden Querzeilen aus verzweigten Stacheln, nur an beiden den Dehiscenzstreifen angrenzenden Rändern aus schuppenförmigen Blättchen bestehen. Die zwei Zeilen b in Fig. 7 bestehen manchmal theilweise schon aus Stacheln, aber diese stehen dann nicht in der Mitte, sondern zu beiden Seiten in den Querzeilen; in der Mitte aber finden sich manchmal, wie in Fig. 7, zwei so charakteristische Schuppen, dass sie den Randschuppen der oberen Querzeilen ähnlich sehen; diese bezeichnen dann die Stelle, wo die zwei dedoublirten und scheinbar eine einzige Zeile bildenden Vorblätter an einander grenzen.

Das Gesagte bestätigt auch noch der Vergleich mit den vier Secundanvorblättern von Fagus, welche auch nur in den Medianstreifen bogig ansteigen, in der Transversale aber, wenn auch nicht zusammenfliessen, doch getrennt gegen einander streben. Es ent-

sprechen also auch hiernach die zwei Querzeilen b der Kastanie den vier Vorblättern der Buchencupula.

Hiermit habe ich die vier Secundanvorblätter sowohl für die Buchen- als auch für die Kastaniencupula nachgewiesen. Für die erstere war der Nachweis leichter, weil dort wenigstens in manchen Fällen noch die primären ungetheilten vier Blätter vorhanden sind und daher auch bereits unter dem Namen der involucrirenden Schuppen den Autoren bekannt waren. Bei der Kastanie konnten sie erst durch einen genauen morphologischen Vergleich an's Licht gezogen werden, nachdem sie bis dahin in Folge des bisher unerkannten Dedoublements unkenntlich geblieben waren. Diese dedoublirten Vorblätter sind es wohl, die mit den Blüthen zugleich angelegt werden, und Prantl hat daher richtig vermuthet, dass unter den mit den Blüthen angelegten Schuppen die Secundanvorblätter stecken möchten, obzwar ihm ihre Zertheilung in zahlreichere Schuppen noch unbekannt war.

Wenn die Schuppen und Stacheln auf der Kastaniencupula Blätter sind, worüber kein Zweifel mehr bestehen kann, so frägt es sich (und auch Prantl bemerkt, dass es noch nicht genügend festgestellt sei), in welchem Verhältniss die Stacheln zu den Schuppen stehen. Die Schuppen haben nach Gestalt und Nervatur ohne Frage den Charakter von Niederblättern, allein die Stacheln entsprechen meines Erachtens nach der Art ihrer Verzweigung und Nervatur zertheilten und stachelartig umgebildeten Laubblättern. Sie besitzen einen auf der Oberseite rinnigen Stiel und eine zertheilte Spreite, deren Strahlen zwar nach allen Seiten ausgespreizt zu sein pflegen, welche aber in günstigen Fällen, wie die Fig. 12 auf Taf. V es darstellt, einen doppelt fiedertheiligen Bau und ebensolche Nervatur erkennen lässt. Unter dem Endzipfel sind zwei allerdings sehr genäherte Paare von Seitenzipfeln vorhanden, welche wiederum ähnlich fiederartig sich verzweigt haben; die stachelartigen Abschnitte dritten Grades sind aber theilweise nach der Oberseite verschoben gebildet. Die Stacheln sind also eine besondere Metamorphose von auf wenige Seitennerven reducirten Laubblättern, analog den blattbürtigen Stacheln von Berberis, welche nicht immer nur einfach oder dreitheilig, sondern auch mit zwei bis drei Paaren von stachelartigen Seitenzipfeln versehen auftreten können. Die Stacheln sind

zur Blüthezeit noch einfache schmale Schuppen, erst später erfolgt an ihrem Grunde die Verzweigung, die Bildung von Seitenfiederchen, was ganz wohl mit dem Blattcharakter übereinstimmt, wenn auch der Vorgang der Verzweigung etwas ungewöhnlich verspätet eintritt. Die Auffassung der Stacheln der Kastaniencupula als Laubblätter hat nichts Befremdendes, nachdem schon Prantl darauf hingewiesen hat, dass die auf die untersten schuppenförmigen Blätter folgenden Blätter der Cupula von Fagus Sieboldi Form und Bau kleiner Laubblätter besitzen.

Hiernach ist es also nicht richtig, wenn die Schuppen und Stacheln der Cupula als „Hochblätter" bezeichnet werden. Der weibliche Blüthenspross der Cupuliferen ist jedenfalls aus einem beblätterten (Nieder- und Laubblätter tragenden), einblüthigen, einfachen oder aus den Vorblättern in gleichartige Aeste verzweigten Axillärspross hervorgegangen, dessen Reduction die Verspätung (intercalare Bildung) und Umbildung der Blätter unterhalb der Blüthen im Gefolge hatte[1]). Dies schliesst eine genaue Homologie der weiblichen und männlichen Blüthenstände nicht aus, indem die letzteren nur noch vollständiger (bis auf die Vorblätter) reducirt sind, wie dies für Sprosse und Organe männlichen Geschlechts eine oft wiederkehrende Regel ist. Durch Vergleich der Uebergangsformen zwischen weiblichen und männlichen Cymen der Kastanien können wir die stattgefundene Reduction in ihren Phasen noch jetzt verfolgen.

Es erübrigt mir jetzt noch, die volle Deutung der vier Quadranten und Dehiscenzklappen von Castanea und der vier Cupularklappen von Fagus zu geben, was nicht mehr schwer sein wird, nachdem die vier Secundanvorblätter aufgewiesen und als solche auch nachgewiesen sind. Dass die Cupula in den beiden Gattungen mindestens aus zwei partiellen Cupulis besteht, denen eben die vier Secundanvorblätter angehören, ist nun gewiss, aber es frägt sich weiter, ob ihrer nicht mehr als zwei sind, ob nicht die vier Klappen ebensoviele

1) Meine früher (Bot. Centralbl. l. c.) geäusserte Ansicht: „dass nicht etwa die zweiblüthige Gruppe von Corylus oder Carpinus der normal zweiblüthigen Cupula der Buche entspricht, sondern der ganze mit dem aus jenen Gruppen gebildeten ährigen Blüthenstand beschlossene Spross" — muss ich jetzt zurückziehen, obzwar die Voraussetzung, dass der weibliche Spross der Cupuliferen zunächst beblättert war, bestehen bleibt. — Siehe auch die Anmerkung zu S. 157.

besondere Cupulae darstellen, die dann etwaigen Tertianblüthen als deren Achsengebilde zugehören würden und wie diese zu den vier Secundanvorblättern axillär wären? Liesse sich dies nachweisen, so wäre Vieles erklärt, was bis jetzt dunkel blieb, nämlich, warum die Cupula von Anfang an in vier getrennten Partieen angelegt wird (was Prantl die auffallendste Erscheinung nennt), warum die vier Klappen bei der Kastanie schon durch die in vier Quadranten erfolgende Anordnung der Blätter und die zwischen ihnen bleibenden Rinnen vorgezeichnet werden, warum sie bei der Buche fast ganz getrennt auftreten, warum endlich jeder Quadrant der Kastaniencupula sein eigenes Wachsthum zeigt, so dass die Querzeilen gegen die vier Vereinigungsstreifen der Quadranten im Bogen emporgezogen werden, ebenso wie die nur zu zwei Secundanachsen gehörigen, den vier Vorblättern entsprechenden Zeilen b auch nur auf den zwei medianen Streifen als den Grenzlinien der Secundanachsen emporgezogen werden. Dies alles bleibt unerklärt, wenn man die Cupula nur von den Achsen der zwei Secundanblüthen gebildet annimmt. Wäre dies der Fall, so wären die beiden Cupulae in den Medianstreifen verschmolzen; warum aber wären sie in der Mitte durch einen ebensolchen Lateralstreifen in zwei Quadranten getheilt? warum sollte in diesen nicht ebenfalls die Grenzlinie zweier Cupularachsen liegen? Dies Alles macht es schon höchst wahrscheinlich, dass, nachdem eine Zusammengesetztheit der Cupula überhaupt angenommen werden muss, dieselbe im oberen Theile aus vier zu den Vorblättern b axillären Achsentheilen zusammengesetzt sein dürfte. Es lässt sich dies aber noch bestimmter damit beweisen, dass die vier Secundanvorblätter, falls Tertianblüthen gebildet werden, zugleich die Deckblätter derselben sein müssen. Einmal folgt dies schon aus dem allgemeinen Gesetz der cymösen Verzweigung aus den Achseln der Vorblätter der Mutterachse (s. Pasania mit fünfblüthigen weiblichen Cymen). Die Kastanie hat manchmal weibliche Tertianblüthen, ohne dass dies an der Beschaffenheit der Cupula etwas ändern würde. Wären die Klappen von den Achsen der Secundanblüthen gebildet, würden also ihre Blätter mit den Vorblättern b an derselben Achse stehen, so würden die Tertianblüthen nicht aus den Achseln der Secundanvorblätter entspringen. Dann aber ist noch besonders die Uebergangscyme Fig. 14 beweisend, deren Tertianblüthen gewiss zu

den Secundanvorblättern b axillär sind. Diese Uebergangsform lässt ganz klar erkennen, dass der Rest der Cupularschuppen den Achsen der Tertianblüthen angehören, also mitsammt diesen zu den Secundanvorblättern axillär sein muss.

Hieraus ergiebt sich, dass, wenn die Cupula der Kastanie wie gewöhnlich nur dreiblüthig ist, die Achselsprosse der vier Secundanvorblätter nur auf die blossen Cupularklappen reducirt sind. Man darf wohl annehmen, dass wie im männlichen, so auch im weiblichen Geschlecht die Cyme ursprünglich siebenblüthig war und daher eine vierklappige Cupula, d. h. zu den Tertianblüthen auch (partielle) Tertiancupulae erhielt, dass aber dann die Tertianblüthen für die allgemeinere Regel ablastirten, jedoch von ihren Achsen die cupularen „Achsenwucherungen" als constante Componenten der Cupula zurückgeblieben sind. Dass der Ablast der Blüthen nicht nothwendig auch das Schwinden des cupularen Achsentheils zur Folge haben muss, zeigen evident jene Fälle, in denen die Kastaniencupula nur einblüthig wird, ohne dass ihre Zusammensetzung sich ändern würde, so dass, auch wenn man die Cupula mit Prantl nur von den Achsen der Secundanblüthen gebildet annähme, in diesem Falle doch auch diese Secundanblüthen fehlen würden.

Gerade diese augenscheinliche Unabhängigkeit der Kastaniencupula von der Zahl der Blüthen war für mich früher mit ein Hauptgrund, sie für ein einfaches Achsengebilde der Primanblüthe zu halten; nachdem aber weit stärkere Gegengründe zur Geltung gelangt sind, ist dieser Grund hinfällig geworden.

Die Cupula der Kastanie ist also ein aus dreierlei Achsengenerationen zusammengesetztes Gebilde, eine cupula composita, welche man ganz wohl als ein becherförmiges Sympodium bezeichnen kann. Die Basis bis zu den zwei Vorblättern (inclusive) gehört der Primanachse an; an der Bildung des bis zu den Secundanvorblättern reichenden Theiles sind die Achsen der beiden Secundanblüthen betheiligt, die dritte Generation, die Achsen der Tertianblüthen, mögen diese nun selbst entwickelt sein oder nicht, bildet die stacheltragenden Quadranten, so dass also der grösste Theil der gemeinsamen Cupula von den meist blüthenlosen Tertiancupulis gebildet wird.

Wenn also Eichler bei der Kastaniencupula eine Verwachsung von vier Blastemen erblickte, so war er damit dem wahren Sachverhalt wohl auf der Spur, nur irrte er darin, dass er diese Blasteme für die secundanen Vorblätter selbst hielt, während es die axilen Achselprodukte derselben sind, die da verwachsen oder genauer zur Einheit verschmolzen sind.

Eine übersichtliche schematische Darstellung der Cupula von Castanea habe ich in Fig. 13 gegeben, a sind die primanen, b die secundanen Vorblätter, unzertheilt (nicht dedoublirt) dargestellt. Die erste und dritte Axengeneration ist hell, die zweite zwischenliegende dunkel gehalten. Die Cupula ist als vollblüthig (siebenblüthig) angenommen.

Wesentlich dieselbe Zusammensetzung hat auch die Cupula der Buche; nur sind die vier Tertiancupulae unter sich im oberen Theile frei, jedoch die zwei zu einer Secundancupula gehörigen Tertiancupulae im unteren Theile höher hinauf vereinigt (Taf. V, Fig. 2). Die Anordnung der Weichstacheln (die übrigens auch öfter zweispaltig angetroffen werden) auf den Tertiancupulis ist lange nicht so deutlich querzeilig wie bei der Kastanie, nur die untersten Zeilen c (Taf. V, Fig. 2), die mehr schief unter den Transversalspalten verlaufen, lassen sich noch manchmal als zertheilte Vorblätter der Tertianachsen erkennen.

Wenn nun die weiblichen Dichasien der Buche auch Tertianblüthen bilden und zugleich die vier Cupularklappen abermals zweispaltig erscheinen, so bedarf es keines weiteren Beweises, dass diese neue Spaltung die gleiche Bedeutung hat wie die früheren Spaltungen in die Secundan- und Tertiancupulae, dass mithin die neuen acht Klappen Quartancupulae sein müssen, die zu Vorblättern der Tertiancupula axillär sind. Freilich ist es an den der var. quercifolia und manchmal auch an den der gemeinen Form gehörigen mehrspaltigen Cupulae nicht möglich, die tertianen Vorblätter aufzuweisen, weil dort schon die secundanen Vorblätter in getrennte, wenig regelmässig gestellte Weichstacheln aufgelöst sind. An den höchst seltenen achtspaltigen Cupulen mit Tertianblüthen von der ganzblättrigen Buchenform waren jedoch diese tertianen Vorblätter c so wie in Fig. 2 (die aber nur eine vierspaltige zweiblüthige Cupula darstellt) deutlicher entwickelt. Davon sind jedoch nur vier, unter

jeder Tertiancupula nur einerseits eine, es sollten ihrer aber acht sein, die vier anderen wären über den vier Secundanvorblättern zu suchen. Sie sind dort aber wenigstens nicht mehr deutlich nachweisbar, entweder sind sie, weil diese Seite der Tertiancupula in ihrer Entwickelung gehemmt erscheint, unterdrückt, oder es ist die über den Secundanvorblättern stehende undeutliche halbseitige Querzeile von Weichstacheln für ein Derivat der vermissten vier Tertianvorblätter anzusehen. Dagegen kann man am Grunde der höher hinauf vereinigten Quartancupulae noch zwei unter der Bucht zwischen ihnen wieder im Bogen emporgezogene Zeilen als offenbare Aequivalente der zertheilten Quintanvorblätter erkennen (Taf. V, Fig. 5, eine halbe achtspaltige Cupula, in gleicher Weise schematisch dargestellt wie die Kastaniencupula in Fig. 13).

Das Eigenthümlichste an den vielblüthigen und vielspaltigen Buchencupulae ist, dass mit dem Auftreten von Tertianblüthen sofort auch zu ihren anzunehmenden Vorblättern axilläre Quartancupulae, und ebenso auch mit der Bildung von Quartanblüthen gleich wieder sogar weitere Abschnitte als Quintancupulae erzeugt werden. Morphologisch wäre die Weitertheilung der Klappen nicht nothwendig, es könnte, wenn Tertianblüthen auftreten, ganz wohl, wie bei der Kastanie, bei der Bildung der Tertiancupulae sein Bewenden haben. Es lässt sich das nur physiologisch oder pathologisch erklären, als eine Erscheinung von Blastomanie, eine stetige Bildung von cupularen Achselsprossen der Vorblätter der letzten Blüthengeneration. Ja diese Blastomanie geht oftmals soweit, dass Cupularsprosse in den Achseln von Vorblättern gebildet werden, deren zugehörige Blüthen gar nicht einmal mehr angelegt werden, so dass z. B. zweiblüthige aber achtspaltige Cupulae gefunden werden.

Meine frühere Ansicht, dass die wiederholte Spaltung der Cupula der Buche auf mechanischen Gründen beruht, welche Prantl annehmbar und mit seiner eigenen Anschauung harmonirend gefunden hat, muss ich jetzt durchaus zurücknehmen und ich thue es mit Befriedigung darüber, dass jetzt ein morphologischer Grund (wiederholte Sprossung) dafür nachgewiesen ist. Doch muss bemerkt werden, dass wirklich oftmals der Anschein entsteht, als ob wenigstens die Tiefe der Spaltung, d. h. die Höhe der Vereinigung der benachbarten Partialcupulae gleicher Generation von mechanischen

Gründen, nämlich von der Lage der Blüthen und der Fruchtflügel abhinge. Ein schönes Beispiel bietet die in Fig. 4 abgebildete einblüthige und dreispaltige Cupula dar, die ich einmal bei der gemeinen ganzblättrigen Waldbuche fand. Die einzige Frucht ist anscheinend terminal, wenigstens nimmt sie den Grund des Fruchtbechers ein; entsprechend den drei Flügeln derselben ist die Cupula durch drei Einschnitte ziemlich regelmässig in drei beinahe gleich grosse und nach $^1/_3$ gestellte Klappen getheilt, allein die eine Klappe ist an der Spitze zweispaltig. Die Cupula ist also auch hier eigentlich vierspaltig, aber rechts sind die Tertianklappen bis tief zum Grunde getrennt, zwischen sich den einen Flügel der Frucht frei lassend, während auf der linken Seite, welcher eine Fläche der Nuss zugekehrt ist, die beiden Tertiancupulae hoch hinauf vereinigt sind. Wäre die einzige Frucht wirklich von einer Primanblüthe gebildet, so wäre damit die Tiefe der Spaltung als von der Lage der Frucht abhängig erwiesen; allein nach ihrer Stellung zu den vier Klappen ist es möglich, ja wahrscheinlich, dass die einzige Blüthe eine Secundanblüthe war, die sich allein entwickelt hat, während die andere der zweispaltigen Klappe zugehörige Blüthe ablastirt ist. Dies ist darum wahrscheinlicher, weil auch in den mehr als vierspaltigen Cupulen die wohlentwickelten Früchte (z. B. dritten Grades) immer nahe dem Grunde der gemeinsamen Cupula stehen und dann die zugehörigen 2 Klappen auch tief hinab getrennt sind, während wenn die Spaltung einer Klappe kurz ist, die immer dicht unter dem Spalt stehende, also auf der gespaltenen Klappe (wie in Fig. 3) emporgehobene Frucht klein, schlecht genährt und unvollkommen entwickelt oder auch bereits ganz ablastirt zu sein pflegt. Es erklärt sich also die einblüthige Cupula der Fig. 4 am besten in der Weise, dass von den gewöhnlichen Secundanblüthen nur eine angelegt wurde, womit die tiefere Trennung der zugehörigen zwei Klappen zusammenhängt, die zweite aber ablastirte und damit auch eine grössere Verschmelzung der zwei Klappen auf dieser Seite eintreten musste.

Die Cupula Fig. 4 ist noch in anderer Beziehung von Interesse. Die kurz zweispaltige Secundancupula derselben ist nämlich vollkommen, auch in Betreff der Anordnung der Weichstacheln auf ihrer Aussenseite, gleich gebaut wie die kurz zweispaltigen Tertian- und

Quartancupulae (z. B. in Fig. 3), welche nur eine schlecht entwickelte oder gar keine Frucht tragen. Da nun ihre Lappen ganz gewiss die Bedeutung der Tertiancupulen haben, so wird damit auch die analoge Deutung, die wir den zweispaltigen Tertian- und Quartancupulen gegeben haben, nochmals bestätigt, trotzdem dort die zugehörigen Vorblätter nicht mit der erforderlichen Sicherheit nachgewiesen werden konnten.

Ich habe zuvor bemerkt, dass die zusammengesetzte Cupula von Castanea und Fagus als ein becherförmiges Sympodium bezeichnet werden kann. Bisher kannten wir nur Sympodien von uniparen Cymen (wickel- oder schraubelartigen Verzweigungen), hier ermöglicht die seitliche Ausbreitung der Achsen ein Sympodium einer biparen Cyme oder eines Dichasiums. In der früheren Mittheilung schon habe ich darauf hingewiesen, dass innerhalb der Cupula die Blüthen verschiedener Grade anscheinend coordinirt neben einander auf der in der Cupula ausgebreiteten Achse erscheinen, und dass, wenn diese Blüthen auch ebenso angelegt werden, ein analoges Verhalten hier gegeben ist, wie bei der Bildung der anscheinend z. Th. monopodialen Wickel der Borragineen, wo auch die Blüthen auf dem vorgebildeten Sympodium anscheinend coordinirt auftreten. Doch wird Niemand daran zweifeln, dass dennoch die weibliche Blüthengruppe, ebenso wie die männlichen von Castanea, ein Dichasium ist. Nachdem nun auch die Cupula als ein sympodiales Gebilde erkannt worden, ist die Analogie mit jenen Blüthenwickeln, was die Entwickelung betrifft, noch augenscheinlicher. Wie bei jenen die Blüthen auf einer Seite (Bauchseite), die Vor- und Deckblätter auf der anderen Seite (Rückseite) des Sympodiums auftreten, ebenso bilden sich auf der Aussenseite der sich allmählich erhebenden Cupula die Vor-, resp. Deckblätter der verschiedenen Grade, acropetal, anscheinend wie die Blätter einer Achse, während die Blüthen am Grunde der Innenseite ebenfalls anscheinend coordinirt angelegt werden. Auch diese Cupula ist also ein „dorsiventrales“ Gebilde, die Aussenseite ist ihre Rückseite, die Innenfläche ihre Bauchseite. Mit der Erkenntniss, dass sie mit ihren Blüthen ein cymoses Verzweigungssystem bildet, ist ein ähnlicher morphologischer Fortschritt gethan, wie mit der Auffassung und dem Nachweise, dass die „Trauben“

und „Aehren“ der Borragineen bei den alten Botanikern wahre Cymen (Wickeln) repräsentiren.

Ausser Fagus und Castanea sind noch die beiden Nebengattungen oder Sectionen Nothofagus und Castanopsis in Betreff ihrer Cupula zu berücksichtigen. Von Nothofagus hatte ich nur zwei Arten mit Früchten zur Verfügung: N. antarctica Oerst. (Fagus ant. Forster), in Chile leg. Philippi, und N. Cunninghami Oerst. (Fagus Cunn. Hook.), in Tasmania leg. Hooker. Beide besitzen kleine viertheilige und meist dreiblüthige Cupulen mit schmalen Klappen, welche im Prinzip ebenso gebaut sind wie die von Fagus silvatica, aber viel einfachere Verhältnisse in der Anordnung ihrer Schuppen zeigen. Die Klappen sind nur mit einer Reihe von wenigen (4—5) Schuppen besetzt, welche ihre ganze Breite einnehmen und von welchen die untersten, ganz am Grunde der Klappen stehenden deren Tragblätter, also die vier Secundanvorblätter sind. Diese Schuppen sind bei N. antarctica wirklich einfach, ungetheilt, höchstens vorn etwas ausgerandet[1]), bei N. Cunninghami aber ist eine jede in eine quere Reihe schmaler, dicht neben einander stehender, an der Spitze drüsiger, meist zurückgebogener Fransen bis zum Grunde zertheilt; dieselben zeigen somit, besonders mit der vorigen Art verglichen, das Dedoublement der Schuppenblätter in schönster Weise. Das Dedoublement demonstrirt auch noch der Vergleich mit den beiden Primanvorblättern der N. Cunninghami, welche in ähnliche, drüsig geendigte Zipfel, jedoch nur ungleich tief gespalten, nicht wie die Secundanvorblätter und die Klappenblätter bis zum Grunde zertheilt sind. Bei N. antarctica sind die zwei Primanvorblätter, welche die Basis der sitzenden Cupula von beiden Seiten ganz umfassen, in zwei bis drei Lappen gespalten (vielleicht nur eingerissen?). Bei beiden Arten ist die Cupula zunächst wieder (wie bei der Waldbuche) in zwei laterale Theile tiefer hinab getheilt und die beiden Secundancupulae dann erst minder tief in ihre zwei Klappen gespalten.

Hätte sich Eichler beim Studium der Cupula nicht auf Castanea und Fagus beschränkt, sondern auch Nothofagus berücksichtigt, so

1) Die von Prantl in „Natürl. Pflanzenfam.“ abgebildete Cupula von N. Gunnii stimmt mit der von meiner N. antarctica überein, bis auf die zwei dort noch über den zwei Primanvorblättern abgebildeten Schuppen, die auf meinen Cupulen fehlen und die ich mir auch gar nicht zu erklären wüsste.

würde er die Ansicht, dass die Cupularklappen den vier Secundanvorblättern entsprechen und ihre Schuppen Excrescenzen seien, als irrig erkannt haben müssen, denn die genannten Arten von Nothofagus, besonders N. antarctica, zeigen eine solche Uebereinstimmung der zwei primanen Vorblätter mit den Klappenschuppen, dass damit die selbständige Blattnatur der letzteren und somit die axile Natur der Klappen ganz augenfällig erwiesen wird.

Hier muss ich noch erwähnen, dass die Früchte und Cupulen, welche Prantl für N. antarctica in Engl. u. Prantl Natürl. Pflanzenfamilien III, 1 S. 52 abbildet und in seinen „Beiträgen" ausführlicher bespricht, von den Früchten meines Exemplars ganz bedeutend verschieden sind. Prantl fand auf seinem Exemplar (Lechler 1060) statt einer vierklappigen dreiblüthigen Cupula zwei ganz getrennte laterale Klappen unter der einzigen weiblichen Blüthe; jede Klappe besitzt am Grunde ihr Deckblatt (primäres Vorblatt) und ausserdem erst weiter oben noch eine einzige Schuppe unter der zweizähnigen Spitze. Es ist mir wenig wahrscheinlich, dass es sich hier nur um eine abnormale Varietät, gleichsam ein conträres Gegenstück zu den achtspaltigen Cupulen der Fagus silvatica handeln würde, denn die Verschiedenheit ist doch zu gross, vielmehr möchte ich bestimmt annehmen, dass unter Fagus antarctica Forst. verschiedene Arten zusammengefasst werden. Die Lechler'sche Pflanze aus pl. Magell. 1060 gehört nämlich nach A. De Candolle im Prodromus zur var. β bicrenata A. DC. (= Fag. pumilio Poepp.), meine von Philippi bei San José „in locis hieme inundatis" (pl. chilens. 716) ges. Pflanze aber, wie auch auf dem Zettel von Grisebach bemerkt ist, zur var. γ uliginosa A. DC. (= F. uliginosa Phil.). Diese beiden Formen, die sich auch in den Blättern und in der Behaarung unterscheiden (über die Früchte wird im Prodrom. nichts gesagt), sind höchst wahrscheinlich zwei verschiedene Arten. Da die Fagus antarctica Forster eine vierklappige Cupula haben soll, so ist die Lechler'sche Form als F. pumilio Pöppig resp. Nothofagus pumilio auszuscheiden. Ob aber die var. uliginosa die echte F. antarctica Forst. darstellt, ist damit noch nicht entschieden, weil noch eine dritte Var. A. De Candolle's α sublobata existirt, welche vielleicht die echte Forster'sche Art ist und von der vielleicht auch die F. uliginosa Phil. specifisch

verschieden ist. Diese Zweifel zu entscheiden muss ich Jenen überlassen, welche über das nöthige Pflanzenmaterial verfügen.

Die Lechler'sche Pflanze, die N. pumilio, ist allerdings dadurch sehr interessant, dass ihre Cupula auf die zwei Secundancupulae, zwei schmale einschuppige Klappen reducirt ist. Der nackte kurz zweispaltige oder zweizähnige Endtheil dieser Klappen erinnert an die ebenso beschaffenen Endtheile der vier Cupularklappen von Castanea.

Was den Gattungswerth von Nothofagus betrifft, so scheint er mir bei der wesentlichen Uebereinstimmung ihrer Cupula mit der von Fagus etwas fragwürdig zu sein. Als generische Unterschiede gelten: 1. das Fehlen der weiblichen Primanblüthe bei Fagus, ihr Vorhandensein bei Nothofagus, 2. die männlichen Blüthenstände, nämlich bei Nothofagus axilläre Einzelblüthen oder dreiblüthige Dichasien, bei Fagus langgestielte reichblüthige „Köpfchen", deren morphologische Natur noch nicht endgültig festgestellt ist, die aber Prantl ebenfalls für, obgleich reichblüthigere, Dichasien hält.

Die Unterdrückung (Ablast) der Primanblüthe bei Fagus im engeren Sinne ist aber ein Charakter von relativem Werthe. Diesbezüglich war mir die Auffindung einer dreiblüthigen (sonst normal vierspaltigen) Cupula von der gewöhnlichen ganzblätterigen Waldbuche, welche ich aufbewahre, interessant, in welcher die Frucht der Primanblüthe zwischen den dreiflügeligen Secundanfrüchten ausgebildet, und zwar wie bei Nothofagus zusammengedrückt und zweiflügelig ist. Wenn dies auch ein sehr seltenes Vorkommniss genannt werden darf, so hebt es doch den generischen Werth dieses Merkmals für Nothofagus auf.

Auch der zweite Gattungsunterschied, betreffend die männlichen Inflorescenzen, wäre geringfügig, wenn wirklich das „Köpfchen" von Fagus sensu stricto ein, nur reichlicher verzweigtes, Dichasium wäre. Ich kann aber diese Ansicht nicht theilen. Zwar habe ich bei Fagus ferruginea die grössere längergestielte, anscheinend terminale Blüthe auch gesehen, auch bei F. silvatica öfter eine länger gestielte und in der Verlängerung der Inflorescenzaxe stehende Blüthe wahrnehmen können, bei F. ferruginea auch öfter anscheinend nur zwei, dafür sehr dicht- und vielblüthige seitliche Gruppen

unter jener ausgezeichneten Mittelblüthe; aber bei F. silvatica ist oftmals die Achse des Blüthenstands mehr verlängert und es entspringen dann die Blüthen zu 1—3 beisammen deutlich in mehreren (z. B. 4) alternirenden Gruppen, so dass der Blüthenstand doch deutlich racemös, wenn auch vielleicht mit einer wahren Endblüthe versehen erscheint. Dann erinnere ich an die 1—3 schmalen leeren Vorblätter am Infloreszenzstiele, die auch gegen ein Dichasium sprechen, weil sonst überall bei den Cupuliferen, selbst auf dem reichblätterigen weiblichen Blüthenspross, die dichasiale Verzweigung eben aus den Achseln der Vorblätter stattfindet. Endlich ist noch ein vergleichendes Moment gegen die Deutung der männlichen Inflorescenz als Dichasium anzuführen, nämlich die Stellung dieser Inflorescenzen unterhalb der weiblichen Cupularsprosse. Wo sonst bei den Cupuliferen männliche und weibliche Blüthen oder Dichasien an derselben Achse zusammen vorkommen (Castanea, Pasania), sind stets die männlichen oben, die weiblichen unten, wogegen, wenn selbst die ganzen traubigen, aus den Cymen oder Einzelblüthen gebildeten Inflorescenzen (Kätzchen) geschlechtlich differenzirt sind, die männlichen Kätzchen im unteren Theile des Laubsprosses unter den weiblichen oder androgynen (so bei Quercus, Pasania, Castanea) sich zu befinden pflegen. Auch hiernach müsste der männliche Blüthenstand der Buchen ein aus Cymen zusammengesetztes Kätzchen sein, da es wenig wahrscheinlich ist, dass sich bei den Fageen, die ihrer Cupula nach mit Castanea so nahe verwandt sind, die Trennung der Geschlechter in umgekehrter Weise vollzogen hätte. Wenn sich bei der Buche die Terminalblüthe in den sehr kurzen gestauchten Kätzchen erhalten hat, an den verlängerten Kätzchen der Kastanien und Eichen aber nicht, so ist das durchaus nicht bedenklich, denn auch die unbegrenzten racemösen Blüthenstände sind phylogenetisch aus begrenzten hervorgegangen. Wenn nun auch die weibliche Cyme der Buche allerdings nicht durch Reduction aus dem Kätzchen von Castanea oder Quercus abgeleitet werden kann, so folgt daraus nur, dass die Reduction der Laubblätter in Hochblätter unter den männlichen Cymen früher stattgefunden hat als unter den weiblichen, und dass die weibliche Cyme länger auf der laubtragenden Hauptaxe erhalten blieb als die männlichen. Eine weitere Erörterung dieser

phylogenetischen Frage würde mich zu weit abführen und soll einer anderen Gelegenheit vorbehalten bleiben[1]).

Fagus würde sich hiernach von Nothofagus durch ihre männlichen Kätzchen unterscheiden und in dieser Hinsicht zu den übrigen Cupuliferengattungen den Uebergang bilden.

Noch erübrigt mir in Betreff der Cupula auf die von manchen Autoren [A. De Candolle, Bentham et Hooker] als Gattung anerkannte, von anderen wohl mit mehr Recht als Section der Gattung Castanea betrachtete Sippe Castanopsis Spach einen Blick zu werfen. Hier fehlt es noch ganz an einer genaueren Analyse der Cupularbildung; mit dem gewöhnlichen gepressten Herbarmaterial ist da wenig auszurichten. Dass die Cupula auch von Castanopsis in gleicher oder ähnlicher Weise zusammengesetzt sein wird wie die von Eucastanea, obzwar sie nicht mit vier Klappen, sondern nur unregelmässig oder gar nicht aufspringt, ist wohl nicht zu bezweifeln, da sie öfter ebenfalls drei Blüthen gemeinschaftlich einschliesst, obwohl deren Zahl öfter (wie übrigens auch bei Eucastanea manchmal) auf eine einzige reducirt ist. Ich konnte nur von Castanea indica Roxb. und von Castanea chrysophylla Hook. β. minor Bentham jüngere Früchte nothdürftig an Herbarpflanzen untersuchen. Bei der C. indica (Wallich pl. Ind. or.), deren Cupula meist einblüthig ist, konnte ich wenigstens deutlich die Stachelblätter in vier Felder vertheilt, und zwischen diesen je zwei Reihen aufrechter angedrückter Schuppenblätter erkennen, woraus sich auf eine gleiche Zusammensetzung der Cupula wie bei Castanea vulgaris schliessen lässt.

Von der Castanea chrysophylla Hook. wird im Prodromus ausser der baumartigen Hauptart, welche in Oregon zu Hause ist, noch eine strauchartige Varietät minor Benth. aus Californien auf Bergen bei Sta. Cruz aufgeführt. Ich habe beide Formen vor mir, die Hauptart von den Cascade Mountains im Staate Oregon, ges. von Th. Howell, leider nur mit Blüthenzweigen aber ohne Früchte, die var. minor Benth. (nach meiner Bestimmung, denn von den Herausgebern ist die Pflanze nur einfach als C. chrysophylla bezeichnet)

---

1) Seit der Einreichung des Manuscripts dieser Abhandlung habe ich in der k. böhm. Gesellsch. d. Wissensch. zu Prag (10. Mai 1889) in einem Vortrage: Ueber die phylogenetische Entwickelung der Amentaceen (böhmisch, mit deutschem Resumé) diese und ähnliche hierhergehörende Fragen ausführlicher besprochen.

aus Südcalifornien, von Bergen bei St. Bernardino, ges. von den Brüdern Parish, diese auch mit im Vorjahre angelegten Früchten (welche bekanntlich eine zweijährige Fruchtreife besitzen). Diese var. minor ist aber von der Hauptart, d. h. von der ursprünglichen und echten chrysophylla so sehr verschieden, dass ich sie entschieden für eine eigene Art halte und daher Castanea californica benenne[1]).

An den Cupulis dieser californischen Kastanie, die leider durch die Presse stark zusammengedrückt sind, sehe ich nur verzweigte Stachelblätter, ohne Schuppenblätter dazwischen, daher ohne eine erkennbare Gruppirung in Quadranten. Diese Cupula enthält meist drei dreikantige Früchte, welche jedoch, wenn mich die durch Pressen bewirkte Deformirung nicht getäuscht hat, nicht in gemeinsamer Höhlung beisammenstehen, sondern, durch bestachelte Theile getrennt, in besonderen Kammern stecken, so dass es scheint, als ob sich hier die zusammengesetzte Cupula nicht bloss aussen um die Blüthen, sondern auch zwischen ihnen scheidewandartig gebildet hätte. Es bedarf aber eines besser erhaltenen, entweder frischen oder in Alkohol conservirten Fruchtmaterials, um eine sichere Auffassung der Cupula der Castanea californica zu gewinnen.

---

1) Castanea chrysophylla Hook. Baumartig. Blätter breitlanzettlich oder länglichlanzettlich, lang zugespitzt, unterseits goldgelb schülfrig, oberseits getrocknet feingrubig-netzaderig, 4—5 Zoll lang. Von den männlichen Kätzchen die unteren verzweigt, mit ausgespreizten Zweigen, etwa halb so lang als die Blätter. Knäuel (Dichasien) grösser, länger zottig: ihre Deckblätter kurz und breit dreieckig, nicht vorragend.

Castanea californica n. sp. (C. chrysoph. β. minor Benth.). Strauchig, in allen Theilen bedeutend kleiner. Blätter länglich-elliptisch, spitz oder stumpflich, unterseits blassgelblich schülferig, oberseits erst dünnschülferig, dann kahl, glatt, dicklich, ohne äusserlich deutliche Nervatur, 1—2 Zoll lang. Männliche Kätzchen fast ganz einfach, wenige mit kurzen aufrechten Seitenzweiglein, theilweise so lang als die Blätter. Deckblätter die Knäuel weit überragend, lanzettlich-pfriemlich, röthlich.

Die Schülfern, denen die Unterseite der Blätter von C. chrysophylla ihre schöne goldgelbe Färbung verdankt (bei der C. californica ist sie wenigstens auf meinen Exemplaren nur gelblich bis rostfarben), sind eigenthümliche, schildförmige, einer Basalzelle aufsitzende mehrzellige Sternhaare, deren radiäre Scheidewände nicht wie bei Elaeagnus in die Buchten, sondern in die Spitzen der strahligen Lappen ausgehen. In Fig. 15 und 16 sind zwei solche Schülfern mit Camera lucida gezeichnet, bei Vergr. 235:1 dargestellt. Die interessante Zelltheilungsfolge ist aus den Figuren direkt ersichtlich.

Jedenfalls glaube ich, dass diese Art (und neben ihr wahrscheinlich auch die systematisch und geographisch nahe stehende C. chrysophylla) eine eigene Section begründen wird, welche schon durch die für die Gattung Castanea gewiss fremdartige dreikantige Fruchtform, dabei aber in noch genauer aufzuklärender Weise auch durch den Bau der Cupula zu charakterisiren wäre.

Nach A. De Candolle im Prodromus besitzt die C. chrysophylla β. minor „involucra plura in massam echinatam concreta", was mit dem von mir oben Gesagten stimmen würde. Von den weiblichen Blüthen heisst es dort: „flores feminei fasciculati, bracteis et squamis late ovatis cincti." Ich fand auch noch eine jugendliche, offenbar unbefruchtet gebliebene weibliche (eigentlich zwitterige) Blüthengruppe in der Achsel eines Deckblatts der C. californica, welche aber aus vier von Schuppen umgebenen und verschobenen Blüthen bestand, von denen also wenigstens eine Tertianblüthe war. Bei der C. chrysophylla aus Oregon finde ich die weiblichen (zwitterigen) Blüthen am Grunde der oberen, oben männlichen Kätzchen in dreiblüthige Dichasien gestellt.

Die wohlbegründete Unterscheidung der einfachen und der zusammengesetzten Cupula findet auch ihre Verwendung in systematischer Hinsicht. Die Uebereinstimmung in der Bildung der zusammengesetzten Cupula bei Fagus und Castanea und die Bedeutsamkeit dieses Charakters überhaupt lassen es kaum gerechtfertigt erscheinen, wenn Castanea, von den Fageen getrennt, mit den Gattungen Quercus und Pasania in einer zweiten Gruppe Castaneae vereinigt wird, um so weniger aber, da Castanea californica durch ihre dreikantigen Früchte in die Fageen geradezu übergeht. Entweder muss man Castanea zu den Fageen bringen, welche Gruppe dann durch die zusammengesetzte Cupula gekennzeichnet wäre, im Gegensatz zu den Quercineen (Quercus, Pasania) mit einfacher Cupula, oder, was noch das Natürlichste zu sein scheint, drei Gruppen annehmen, die Fageen (Fagus und Nothofagus), die Castaneen (mit Castanea, eventuell auch Castanopsis) und die Quercineen. Damit kommen wir wieder auf die drei alten natürlichen Gattungen Fagus, Castanea und Quercus zurück, welche nur zu ebenso vielen Tribus avanciren, wenn man es für nöthig findet, Nothofagus, Pasania, vielleicht auch Castanopsis von jenen abzuspalten.

Figuren-Erklärung.

Tafel V.

Fig. 1—5. Fagus silvatica.

Fig. 1. Buchencupula von vorne; a Primanvorblätter, b Secundanvorblätter.

Fig. 2. Desgleichen halb von vorn, halb von der Seite; a Primanvorblätter, b Secundanvorblätter, c Tertianvorblätter. — Dieselbe Bedeutung haben die Buchstaben a, b, c auch in den folgenden Figuren 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14.

Fig. 3. Eine Cupula mit den Secundanblüthen (resp. Früchten), von deren vier Lappen der eine links vorn zweispaltig ist und unter dem Ausschnitt eine Tertianblüthe trägt.

Fig. 4. Eine Cupula mit einer einzigen Frucht und mit nur drei den drei Fruchtseiten opponirten grösseren Fruchtklappen, von denen die linksgelegene jedoch zweispaltig ist.

Fig. 5. Diagramm einer halben achtspaltigen und ausser den zwei Secundanblüthen noch vier Tertianblüthen enthaltenden Cupula. Die Primancupula, zu der die Vorblätter a gehören, und die Tertiancupulae, die zu den Secundanvorblättern axillär sind, wurden licht gehalten; die zu den Primanvorblättern a axilläre linksseitige Secundancupula und die vier linksseitigen Quartancupulae sind schraffirt gezeichnet.

Fig. 6—14. Castanea vulgaris.

Fig. 6. Ganze Cupula, halb von der Seite, halbschematisch, A das Deckblatt der Cupula. Die Stachelblätter in den Querreihen b und c sind am Grunde abgeschnitten. Die Querreihen sind in der Natur etwas weniger regelmässig.

Fig. 7. Basis der Cupula von unten betrachtet; a die beiden Vorblätter; die Querreihen b und c theils aus Schuppenblättern, theils aus (abgeschnittenen) Stachelblättern bestehend; m die medianen, t die transversalen Dehiscenzlinien der Cupula.

Fig. 8 und 9. Unterste Basis der Cupula von unten, vergrössert; a die beiden theilweise zertheilten Primanvorblätter; x der Durchschnitt der Inflorescenzaxe.

Fig. 10. Ein Theil der Schuppen einer Querreihe b, vergrössert.

Fig. 11. Eine Querreihe b, vergrössert.

Fig. 12. Ein Stachelblatt der Cupula, vergrössert.

Fig. 13. Diagramm einer Kastaniencupula, analog dem Diagramm in Fig. 5. Die Primancupula und die vier Tertiancupulae licht gehalten, die zwischenliegenden zwei Secundancupulae schraffirt. Dichasium 7blüthig. Die Secundanvorblätter b als nicht dedoublirt dargestellt.

Fig. 14. Ein männliches intermediäres Dichasium mit stark reducirter Cupula im Diagramm, copirt nach Eichler (Blüthendiagramme II, Fig. 9 G); a die Primanvorblätter, b die Secundanvorblätter, in zwei Blättchen dedoublirt, nur das links vorn stehende ungetheilt. Zu vergleichen mit der ausgebildeten Cupula Fig. 13 und mit dem normalen männlichen Dichasium (Eichler, Blüthendiagramme II, Fig. 9 C).

Fig. 15 und 16. Zwei Trichomschuppen (schildförmige, mehrzellige Sternhaare) von Castanea chrysophylla Hook., mit Camera lucida gezeichnet. Vergr. 235 : 1.



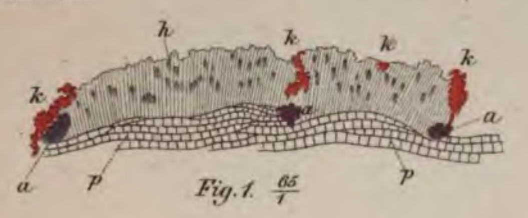


Fig. 1. 65/1

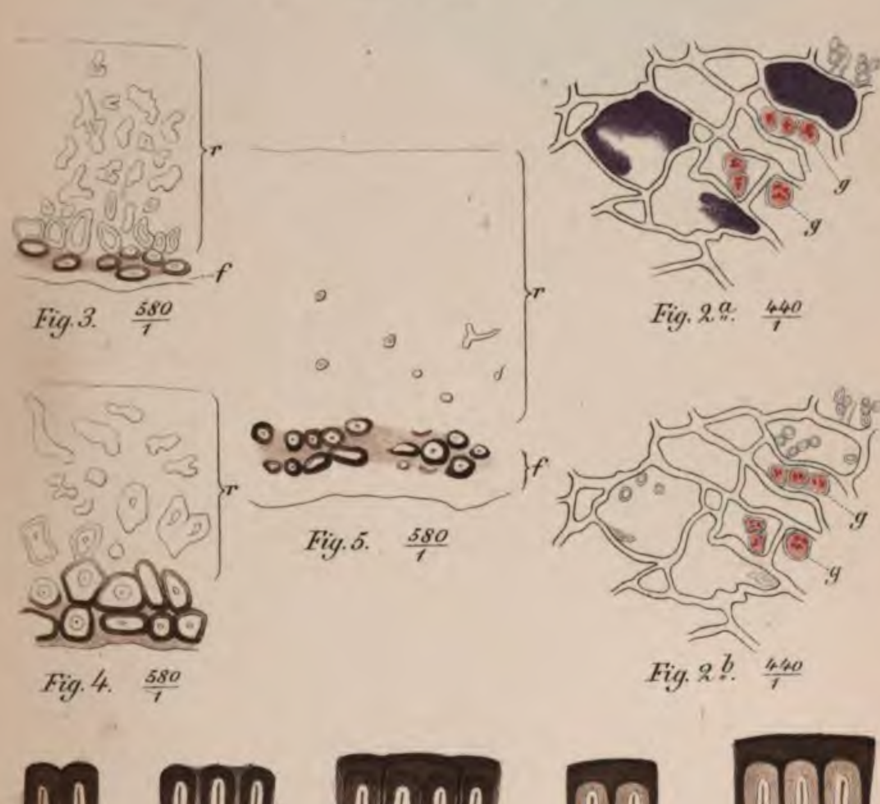


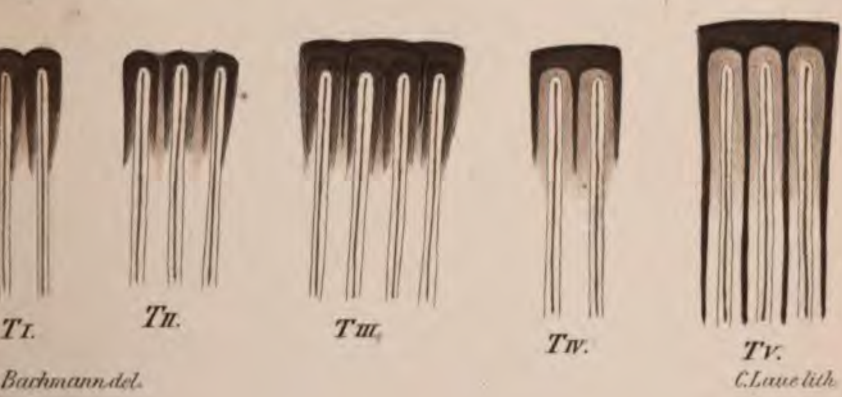
Fig. 3. 580/1

Fig. 2 a. 440/1

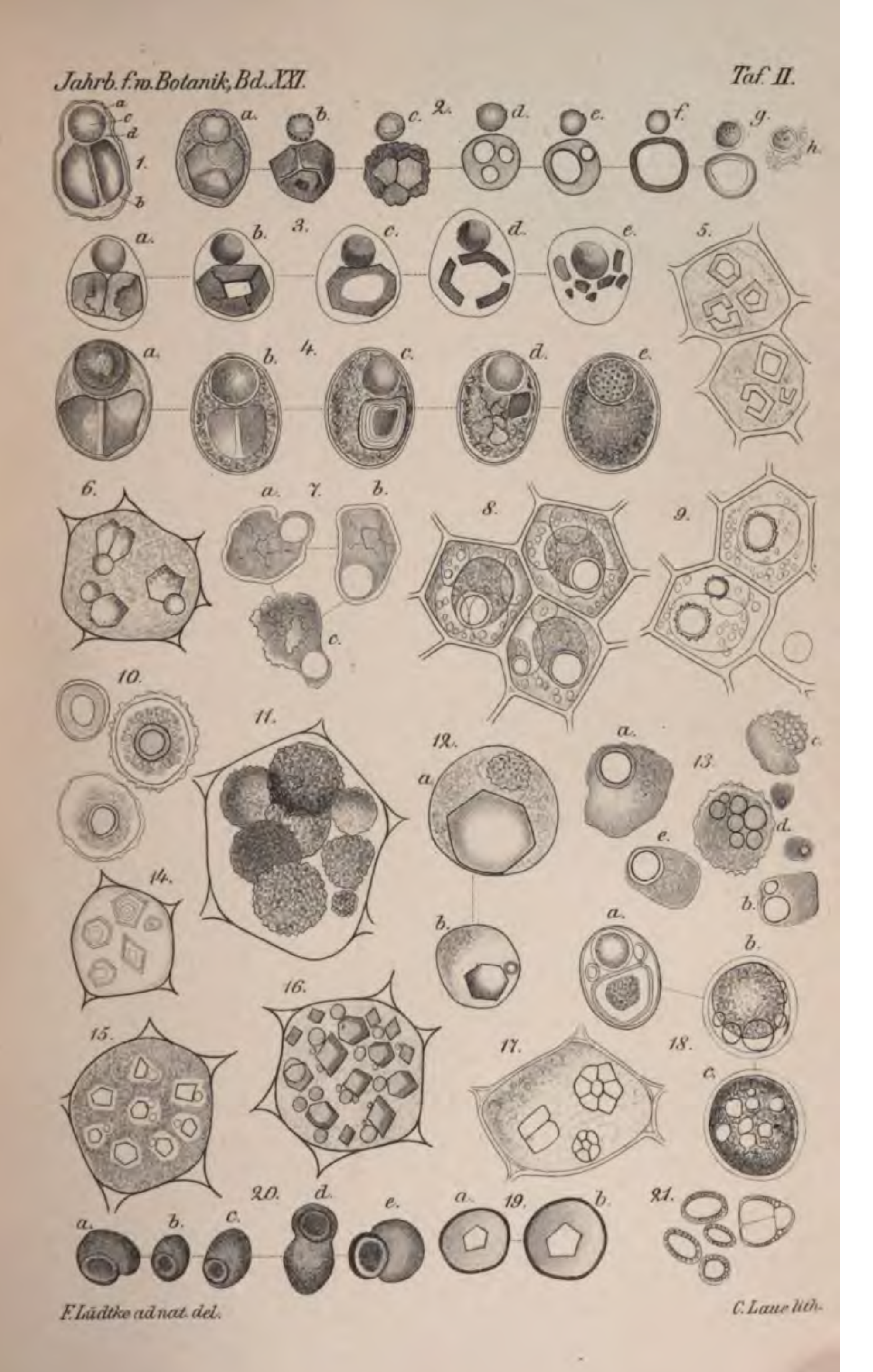
Fig. 5. 580/1

Fig. 4. 580/1

Fig. 2 b. 440/1



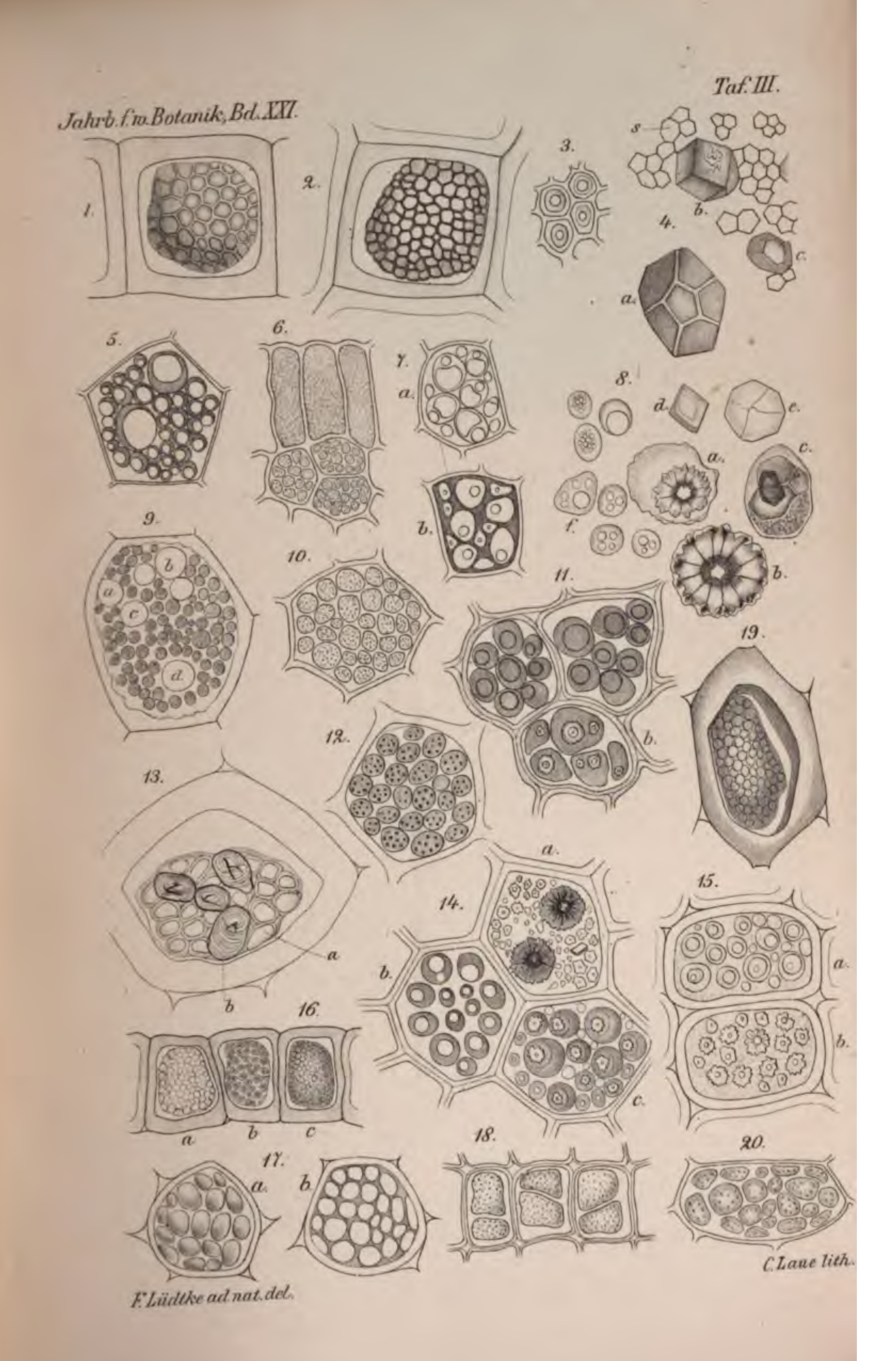
E. Bachmann del. C. Laue lith.



F. Lüdtke ad nat. del.

C. Laue lith.





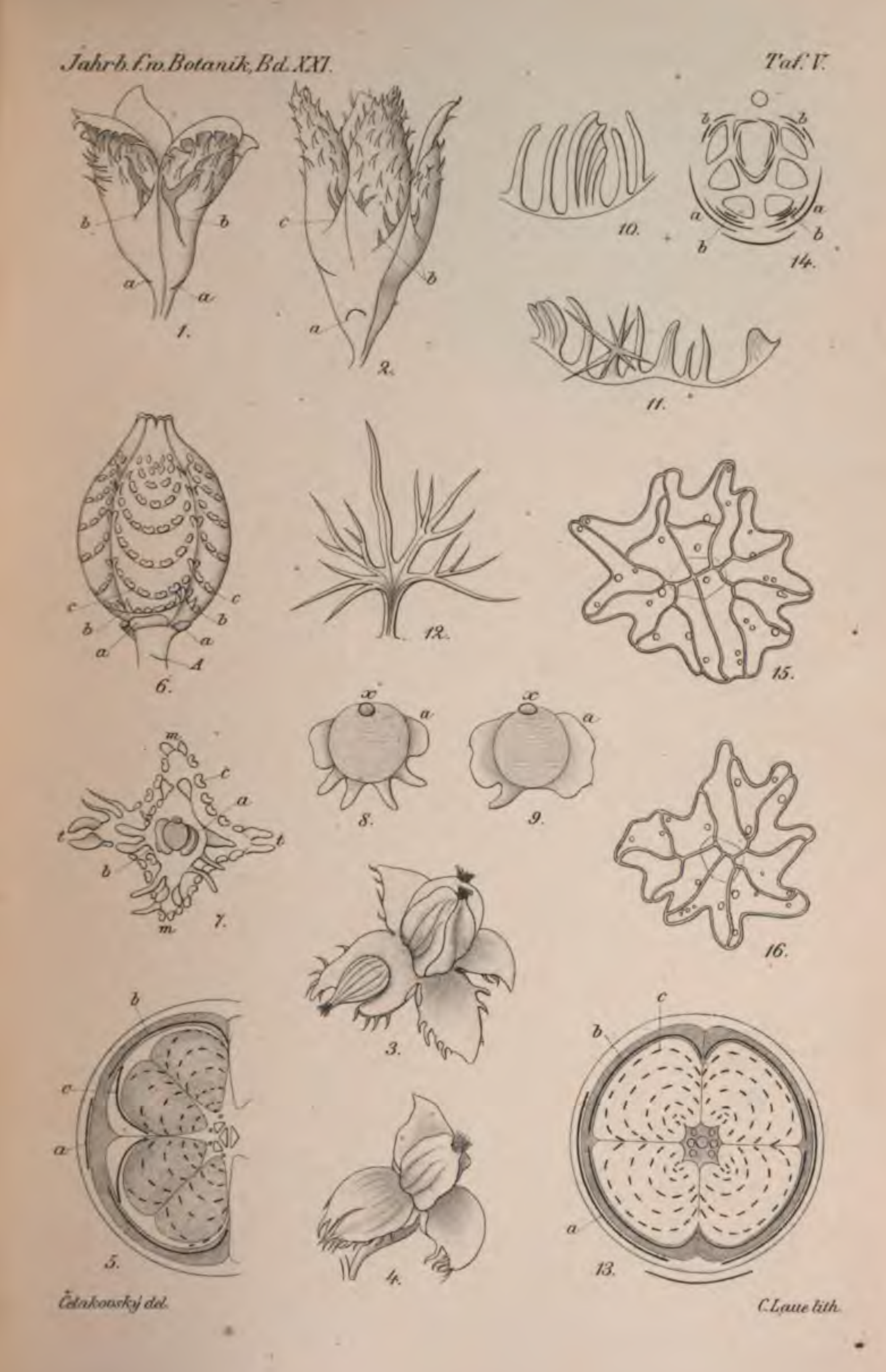
F. Lüdtke ad nat. del.

C. Laue lith.




Jahrb. f. w. Botanik, Bd. XXI.
Taf. IV.
1.
a
b
2.
3.
4.
5.
a
b
6.
7.
8.
9.
10.
11.
A.
12.
B.





Jahrb. f. w. Botanik, Bd. XXI.
Taf. V.
Čelakovský del.
C. Laue lith.



Die Bewegungen des Protoplasma von Caulerpa prolifera.

Von

Dr. J. M. Janse.

Hierzu Tafel VI bis VIII.

Einleitung.

Schon lange bevor Mohl das Protoplasma als den nie fehlenden, allein lebenden Theil der Pflanzenzelle erkannte, hatte Corti[1]) zuerst, und verschiedene andere Forscher nach ihm, lebhafte Bewegungen von einem Theile des Saftes (früher nannte man alles, was nicht Zellwand war, zusammen den Zellsaft) in einigen Zellen, zu verschiedenen Pflanzen gehörend, beobachtet.

Obwohl auch früher schon, doch zwar nur einzelne Male, die Meinung geäussert wurde, dass jene Bewegung des Protoplasma eine Erscheinung sei, welche nicht einzelnen wenigen, sondern allen lebenden Zellen ohne Ausnahme zukomme, und dass sie nicht, wie einige meinten, als Folge der Wirkung äusserer Einflüsse (wie z. B. von Osmose oder von Electricität) aufgefasst werden solle, sondern „eine Erscheinungsweise der Thätigkeit des Protoplasma" darstelle[2]), so wurde doch erst in den letzten Jahren die Allgemeinheit der Protoplasmabewegung, sowie auch ihre Bedeutung für das Leben der Zelle nachdrücklich betont.

---

1) Osservazioni microscopiche sulla Tremella e sulla circolazione del fluido in una pianta acquaiula. Lucca 1774, p. 127.

2) Vergl. Schacht, Die Pflanzenzelle, 1852, p. 340.

Die ausgedehnteren Untersuchungen, welche Velten[1]) schon im Jahre 1872 über diesen Gegenstand vornahm, wurden fast gar nicht berücksichtigt, und so war es der erst vor wenigen Jahren erschienene Aufsatz von de Vries[2]), welcher die Aufmerksamkeit mit Nachdruck auf diesen wichtigen Punkt der Physiologie der Zelle lenkte.

Von der Ueberzeugung ausgehend, dass die Fortschaffung der Nahrungsstoffe innerhalb einer jeden einzelnen Zelle unmöglich durch Diffusion verursacht werden konnte, wie bisher angenommen wurde, vermuthete de Vries, dass die Protoplasmaströmung bei diesem Vorgange betheiligt sei, und untersuchte daher, ob diese Bewegung in allen Zellen in der Weise stattfinde, wie der Stofftransport es erfordern würde, um zu erfahren, in wie weit seine Auffassung mit jenen Ergebnissen in Einklang war.

Die Resultate jener Untersuchung haben völlig den Erwartungen entsprochen, weil erstens in den Zellen aller Gewebe der benutzten Pflanzen Protoplasmabewegung beobachtet werden konnte und zweitens weil die Richtung, sowie auch die Intensität der Strömung jenen Factoren des Stofftransports vollkommen entsprachen.

In einem zweiten Aufsatze[3]) theilte de Vries mit, dass auch in den Gewebszellen der Saugwurzeln verschiedener Pflanzen die Protoplasmabewegungen gerade in der Weise vor sich gehen, wie die Wasserbeförderung in die Wurzel hinein, sowie die Erzeugung des Wurzeldrucks es erfordern würden. Auch bei diesen Vorgängen würde man somit die Mitwirkung der Plasmabewegung anzunehmen haben.

Durch diese Ergebnisse hatte die Meinung von de Vries eine äusserst wichtige Stütze erhalten, und war es nunmehr wahrscheinlich geworden, dass weitere Untersuchungen immer wieder neue Beweise für den Satz von de Vries beibringen würden: „Dass der Transport der organischen Baustoffe in den Pflanzen vorwiegend

---

1) Bot. Ztg. 1872.

2) Ueber die Bedeutung der Circulation und Rotation des Protoplasma für den Stofftransport in der Pflanze. Bot. Ztg. 1885, No. 1 und 2.

3) Studien over zuigwortels, Maandblad voor Natuurwetenschappen 1886, No. 4; vergl. Bot. Centralbl. 1888, Bd. 35, No. 29/30.

durch die Rotation und die Circulation des Protoplasma vermittelt wird."

Als ich von November 1886 bis Februar 1887 an der Zoologischen Station zu Neapel verweilend verschiedene Meeresalgen zu jeder Zeit erhalten und in vollkommen frischem Zustande untersuchen konnte, ergriff ich freudig die Gelegenheit, um im Anschluss an die erwähnten Resultate, welche de Vries erhalten hatte, die Protoplasmabewegung in jenen Pflanzen zum Gegenstand einer Untersuchung zu wählen.

Es wird wohl kein Wunder nehmen, dass ich meine Aufmerksamkeit zuerst der in so mannichfachen Hinsichten hoch interessanten Caulerpa prolifera Lamour. widmete.

Besonders für meinen jetzigen Zweck liessen sich von der Untersuchung dieser Pflanze wichtige Ergebnisse erwarten, weil das hier nur aus einer einzelnen Zelle aufgebaute Individuum nicht nur morphologisch, sondern auch physiologisch sich den mehrzelligen Pflanzen ähnlich verhält. Beruhte bei diesen letzteren der Stofftransport innerhalb der viel kleineren Zellen auf der Protoplasmabewegung, um so eher konnte man dieses also bei der Riesenzelle Caulerpa erwarten, bei der die Communication zwischen Rhizoiden, Rhizom und Blättern an keiner Stelle durch Querwände unterbrochen ist.

Nachdem ich mit den damals erhaltenen Resultaten den vorliegenden Aufsatz im Manuscript fertiggestellt hatte, und dieses schon bei der Redaction eingereicht war, wurde mir im Monat April 1889 zum zweiten Male die Gelegenheit geboten, die Zoologische Station zu besuchen. Dieser Besuch war mir um so willkommener, weil sich jetzt mir die Gelegenheit darbot, unsere Pflanze auch während der Frühlings- und Sommermonate zu untersuchen. Durch die Freundlichkeit der Redaction wurde mir die Gelegenheit geboten, meine neuen Beobachtungen dem Manuscripte einzuverleiben.

Schon verschiedene Forscher haben vorher Caulerpa zum Gegenstand eines mehr oder weniger eingehenden Studiums gemacht. Von diesen sei hier an erster Stelle C. von Nägeli[1]) genannt, welcher

---

1) Caulerpa prolifera. Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik, 1844, Bd. I, Heft 1, p. 134—167.

den Bau, die Organisation und die Wachsthumsweise dieser Pflanze eingehend beschrieb.

Unter Hinweisung auf diese Arbeit wird es wohl überflüssig sein, hier auf die nähere Beschreibung ihrer bekannten Gestalt, in der sie sich uns meistens zeigt, einzugehen. Im Frühjahr aber weisen viele Exemplare Eigenthümlichkeiten in der Blattbildung auf, welche ich hier jetzt beschreiben werde; sie wurden auch schon im Jahre 1887 von zwei anderen Forschern in Neapel beobachtet und von diesen kurz erwähnt.[1])

Das Frühjahr 1889 hat sich in Neapel als ein ausserordentlich stürmisches gekennzeichnet, und es scheint, dass die von dem Winde hervorgerufene, andauernde und öfters sehr kräftige Wellenbewegung auch das Wasser in den sonst vollkommen ruhigen Tiefen, welche Caulerpa sich zu ihrem Standort auswählt, vielfach in heftige Bewegung versetzt haben. Ich leite dieses aus dem Umstande ab, dass die Pflanzen, welche Ende des Monats April aus dem Meere heraufgeholt wurden, so stark verstümmelt waren, dass ich sie um diese Zeit zur Fortsetzung meiner Untersuchung über die Plasmabewegung unmöglich benutzen konnte.

Interessant war es aber, dass gerade diese ungünstigen Bedingungen mir die Gelegenheit darboten, zu bemerken, in welchem Maasse die Eigenschaft der abgerissenen Blätter, neue Organe bilden zu können, für die Verbreitung der Caulerpa von Bedeutung ist. An allen Pflanzen nämlich, die ich damals untersuchte, fehlten die alten Rhizome vollständig, oder, wenn sie auch vorhanden waren, so zeigten sie allerdings gar kein erneutes Wachsthum und waren also für die Pflanze von keiner weiteren Bedeutung. An jedem Exemplar beobachtete man aber stets ein mehr oder weniger grosses Stück eines vorjährigen Blattes, beiderseits fast vollständig bedeckt mit einer ungeheuren Anzahl Keimpflänzchen anderer Algen. Zwischen diesen traten die Neubildungen aus der Blattfläche hervor, junge Blättchen und Rhizome, aus welchen letzteren sich dann

---

1) Noll, Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembran. Abh. der Senkenb. Ges. für Naturwiss. Bd. XV, 1887, p. 131; und Gardiner, Report of the British Association for the Advancement of Science, Manchester 1887; Report of the Committee for the occupation of a Table at the Zoological Station at Naples, p. 82.

nachher die vollständigen Pflanzen entwickelten. Selbst an Exemplaren, welche ich Ende Juli untersuchte, und welche von nicht geschützten Stellen im Golfe herstammten, konnte ich noch immer das ältere Blatt unterscheiden, welches aber um die Zeit allmählig im Absterben begriffen war.

Dass Caulerpa in der Eigenschaft der Bildung von neuen Organen durch die Blätter ein Propagationsmittel besitzt, meinte Wakker[1]) aus seinen Versuchen schliessen zu dürfen; dass dieses Mittel factisch ein so äusserst wirksames ist, kann aber die blosse Beobachtung der Pflanzen im Monat Mai allein schon beweisen, zumal wenn diesem eine Zeit stürmischen Wetters vorangegangen ist.

Im Zusammenhang damit ist es interessant, dass das Verbreitungsgebiet von Caulerpa im Golfe von Neapel sich in den letzten sechs bis sieben Jahren ausserordentlich vergrössert hat. Während sie nämlich bis zum Jahre 1878 ausschliesslich im Golf von Pozzuoli, also in der kleineren, westlichen Bucht des Golfes von Neapel zu finden war[2]), und im Jahre 1882 vor der Stadt Neapel nur an einzelnen Stellen vorkam[3]), ist sie jetzt auch im östlichen Theil des Golfes sehr verbreitet und bildet in einiger Entfernung von der Küste einen vielleicht ununterbrochenen Rasen, welcher sich ausdehnt von der Gajola (einem Felsen ein wenig östlich von Nisida), an der Posillipo vorbei, bis zum Castello dell' Uovo, so dass dieser Rasen eine Länge von etwa 7 Kilometer erreicht. Ob sie sich jetzt auch schon östlich vom genannten Castello ausdehnt, ist nicht bekannt, weil an jenen Stellen, also gerade vor dem Kriegs- und dem Mercantilhafen, fast nie gefischt wird. Der erwähnte Rasen hat sich also erst in den letzten zehn Jahren gebildet und entstand zuerst langsam (bis 1882, vergl. die Angaben von Berthold), um sich dann schneller und schneller auszudehnen. In wie weit die Eigenschaft der Blätter, neue Organe bilden zu können,

1) Die Neubildungen an abgeschnittenen Blättern von Caulerpa prolifera. Versl. en Meded. der Kon. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, 1886, 3de Reeks, Deel 2, p. 252.

2) Vergl. Falkenberg, Die Meeresalgen des Golfes von Neapel. Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel, Bd. I, 1879, p. 227.

3) Vergl. Berthold, Ueber die Vertheilung der Algen im Golf von Neapel u. s. w., ibidem, Bd. III, 1882, p. 497.

dabei von Einfluss gewesen sein muss, geht wohl schon ohne Weiteres aus dem Umstande hervor, dass die Stelle, wo sich der Rasen befindet, in keinerlei Weise durch davor liegende Inseln oder Halbinseln geschützt ist, wie dieses an vielen Stellen im Golf von Pozzuoli der Fall ist, sondern überall der durch Stürme hervorgerufenen, zumal im Frühjahr öfters sehr starken Bewegung des Wassers direct ausgesetzt ist. So lange Caulerpa sich also im ruhigen Wasser befand, war die Verbreitung eine langsame, im stark bewegten Theil des Golfes verbreitete sie sich aber sehr schnell.

Bei der Weiterentwicklung der abgerissenen Blätter zeigen die in der Weise gebildeten secundären Spreiten öfters Gestaltungen, welche von denen der normalen Blätter erheblich abweichen. Obwohl man diese abnormalen Prolificationen der Form nach zu zwei Gruppen zurückbringen kann, sind jene dennoch sowohl unter sich, als mit den normalen Blättern durch zahlreiche Uebergänge verbunden.

Beide abweichenden Blattformen stimmen darin überein, dass sie eine öfters wiederholte Theilung zeigen, welche der Form nach vielfach einer Dichotomie ähnlich ist. Die Hauptunterschiede zwischen beiden beruhen erstens auf ihrer Breite, sowie auf der Gestalt ihrer Spitzen, weil die einen höchstens 0.5 mm breit sind und ziemlich spitz endigen, während die anderen oben abgerundet sich zeigen und eine Breite von 2—4 mm aufweisen. Im nächsten Abschnitt wird sich ausserdem noch zeigen, dass die beiden Formen sich in der Art der Protoplasmaströmung ziemlich abweichend verhalten.

Die Blättchen der ersteren, schmäleren Art, welche bisweilen eine sehr dunkelgrüne, fast schwarze Farbe besitzen, treten öfters zahlreich neben einander auf einem nämlichen Blatte auf, so dass, wenn jene schmal bleiben und sich zu wiederholten Malen verzweigen, das Blattstück wie mit einer Anzahl von feinen Fäden bedeckt erscheint. Das Aussehen ist dadurch so verändert, dass einer, der Caulerpa nur in vollständig entwickelten Exemplaren gesehen hat, ein solches Stück kaum als einen Theil einer solchen Pflanze erkennen würde. Wie zahlreich solche schmalen Blättchen vorkommen können, geht aus folgendem Beispiel hervor, welches nicht einmal einen extremen Fall repräsentirt. In diesem hatte ein Blattstück 3 cm lang und 0.7 cm breit an 11 Stellen proliferirt; von diesen

Blättchen mass das breiteste nur 2 mm, während seine Länge etwa 3 cm betrug. Jene nun hatten sich zu wiederholten Malen getheilt, und zwar so oft, dass ich an den 11 Prolificationen nicht weniger wie 197 Spitzen zählen konnte. Die weiterhin unverzweigten Enden waren nur 0.2 mm breit während viele dieser eine Länge von 15 mm zeigten. Immerhin waren aber auch diese noch deutlich abgeplattet, so dass es gewiss keine dünnen Rhizome gewesen sind.

Auf Taf. VI, Fig. 6, ist ein Theil eines vorjährigen Blattes abgebildet, welches einige der beschriebenen Prolificationen trug, welche aber in diesem Falle etwas breiter waren, aber immer noch spitz endigten. Von den drei Prolificationen geht die obere direct aus der Spitze des Blattes hervor, während die beiden übrigen aus der Blattfläche, nahe am Rande, entspringen. Der andere, hier nicht gezeichnete Theil des älteren Blattes, hatte ausserdem noch 22 ähnliche Prolificationen gebildet.

Von der zweiten, breiteren Art, der öfters deutlicher dichotom verzweigten Prolificationen, mag unsere Fig. 7 auf Taf. VI eine Vorstellung geben [1]. Ihrer Form wegen nähern sie sich schon mehr den normalen Blättern, welches um so mehr der Fall ist, weil sie öfters an der Basis eine Verschmälerung zeigen, als hätten sie einen Blattstiel bilden wollen. Stets kann man diese Verzweigungen aber daran von Prolificationen unterscheiden, weil die letzteren stets nur aus der Blattfläche hervorgehen, während die ersteren aus dem Blattrande ihren Ursprung nehmen. In ihrem inneren Bau stimmen jene Blättchen vollkommen mit den normalen Spreiten überein.

Merkwürdiger Weise findet man die Blätter von den beiden oben beschriebenen Formen nur im Frühjahr, wenigstens ist mir nicht bekannt, dass sie jemals beobachtet wurden, ausgenommen im Frühjahr 1887, von Noll und Gardiner, noch habe auch ich selber sie an den sehr vielen Pflanzen beobachtet, welche mir im Winter 1886/1887 zu Gesicht gekommen sind. Es will mir scheinen, als wenn sich die Sache folgender Weise verhält.

Wenn die Blätter von Caulerpa in einer oder der anderen Weise von der Mutterpflanze getrennt unter geeigneten Bedingungen

---

1) In ihrer Gestalt erinnern diese also einigermaassen an kurze Blätter von Caulerpa filiformis.



Gardiner[1]) hat die nämliche Erscheinung beobachtet und meint, dass diese eine Art Zoosporenbildung sei. Meiner Ansicht nach hat jenes Platzen eine blos mechanische Veranlassung, welche hier durch die fortwährende Assimilation bei vollkommener Sistirung des Wachsthums hervorgerufen wird. Durch ersteren Vorgang muss das Volumen der Inhaltsstoffe fortwährend grösser werden, und weil diesem kein Wachsthum entspricht, muss die Dehnung der Membran fortwährend steigen, bis diese an der schwächsten Stelle platzt.

Das vollkommene Fehlen irgend welcher Regelmässigkeit bei diesem Vorgang macht es mir ausserdem unwahrscheinlich, dass hier eine Zoosporenbildung vorliegen würde; wenn man ein solches Blatt an der Spitze mit einer Nadel verwundet, beobachtet man fast vollkommen ähnliche Erscheinungen.

Allerdings befinden sich die mit schmalen Blättchen besetzten Pflanzen stets unter sehr ungünstigen Ernährungsverhältnissen, ihrer geringen Oberflächenentwickelung wegen, und ihre schwache Weiterentwickelung mag die indirecte Folge davon sein.

Die Untersuchung der Pflanzen, welche sehr geschützten Stellen im Golfe, wie z. B. dem Hafen von Nisida, entnommen waren, lehrt, dass dort die jungen Pflanzen, die im Juni schon kräftig proliferirten und eine ziemlich erhebliche Entwicklung zeigten, fast alle aus überwinternden Rhizomstücken hervorgegangen sind.[2]) Abgerissene Blätter, aus denen sich neue Pflanzen entwickelt hatten, fand ich nur vereinzelt und die fein verzweigten Blättchen niemals.

Dieser Umstand, sowie auch die directe Beobachtung dieser Gebilde machen es mir sehr unwahrscheinlich, dass sie in irgend welcher Beziehung stehen würden zu einer bisher noch unbekannten Art von Reproduction, wie Noll und Gardiner es vermutheten.

Die Gelegenheit zum Studium von Caulerpa sowohl wie von allen übrigen Meerespflanzen, in lebendem, völlig normalem Zustande, welches letztere zumal für meinen Zweck von höchster Wichtigkeit war, ist besonders in der Zoologischen Station zu Neapel so ausserordentlich günstig, weil jene dort immer in beliebiger Quantität zur Verfügung stehen, und sie, wenn es erwünscht ist, selbst sogleich nach dem Heraufbringen aus dem Meere untersucht werden können.

---

1) l. c. p. 82.

2) Vergl. Falkenberg l. c.

Da aber durch das Heraufziehen aus dem sandig-schlammigen Meeresboden, in dem Caulerpa wurzelt, diese stets zerrissen oder in anderer Weise verwundet wird, so war es meistentheils geboten, sie vor der Untersuchung bis zum völligen Verschluss der Wunden aufzubewahren.

Zu diesem Zwecke wurden die zur weiteren Beobachtung ausgewählten Exemplare in kleine Aquarien übertragen, welche bei einer Länge und Breite von etwa 40 cm eine Tiefe von 12 bis 20 cm hatten. Diese waren mit Meereswasser angefüllt und fortwährend strömte frisches Wasser durch einen Heber in einem feinen Strahle aus einem grösseren Behälter in die unter diesem stehenden Aquarien hinein.

Bei meinen Versuchen im Winter 1886—1887 waren diese in einer Entfernung von 3 bis 4 m hinter einigen Nordfenstern aufgestellt, so dass die Pflanzen nur schwaches, diffuses Licht erhalten konnten. An Nahrungsmangel litten jene Pflanzen aber dennoch nicht, da stets die Chlorophyllkörper Stärke enthielten. Im Frühjahr und Sommer 1889 aber standen die Aquarien unmittelbar neben einem Ostfenster, so dass die Bassins jeden Morgen während ein Paar Stunden direct von der Sonne beschienen wurden. Dabei liess ich dann das frische Meerwasser nur tropfenweise zufliessen, anstatt in einem continuirlichen Strom wie vorher. Die Pflanzen wuchsen unter diesen Umständen ausserordentlich kräftig und bildeten schöne Rhizome und zahlreiche neue Blätter, welche letzteren sich alle geradenwegs dem Lichte zu richteten. Reichliche Sauerstoffentwickelung fand am Tage statt und Stärke war überall in reichlichster Menge vorhanden; die Grösse der Körner betrug vielfach 3.5 μ, so dass sie bei grösserer Anhäufung, zumal in den Rhizoiden, öfters die genauere Beobachtung des Protoplasma sehr erschwerten.

Da die kleinen Aquarien, welche bisher benutzt wurden, zu niedrig waren für die Caulerpa-Pflanzen und diese sich daher nicht frei entwickeln konnten, wurde Mitte Juni mit einem Versuch angefangen, sie in einer anderen Art zu cultiviren, und zwar im oberen Bassin, in welches das frische Meereswasser immer hineinströmte, und aus welchem es, mittelst der zuvor erwähnten Heber, in die Probeaquarien floss.

Das Bassin hatte eine Länge von 1.70 m und war 0.40 m breit, während die Oeffnung vom Ueberflussrohr, welches durch den Boden des Bassins herunterging, 0.29 m über jenem Boden sich erhob; diese Höhe giebt also die constante Wasserhöhe im Bassin an. Mit einer Längsseite war das Bassin etwa 1 m über dem Boden des Zimmers an einer Nordwand angebracht, während die eine Schmalseite sich in einer Entfernung von 0.35 m von einem Ostfenster befand; dieser Stellung zufolge wurde der rechte Theil des Bassins Morgens von der Sonne beschienen. An diesem äussersten rechten Ende war auch das Ueberflussrohr angebracht, während das frische Meereswasser an der äussersten linken Seite hineinströmte. Mittelst eines Hahnes (aus Hartgummi) konnte dieser Strom nach Belieben geregelt werden.

Der Boden des Bassins wurde mit einer Schlammschicht (etwa 2 cm hoch) bedeckt, über welche kleine Steine gelegt wurden, damit das Wasser sich nicht durch zufällige Strömungen trübte.

Die Caulerpa-Pflanzen wurden ausschliesslich in der rechten Hälfte des Bassins, welcher also dem Ostfenster zugekehrt war, cultivirt. Da jene aber strömendes Wasser nicht zu lieben scheinen, wurden folgende Einrichtungen getroffen, um die fortwährende Bewegung zu verhindern und dennoch das Wasser stets zu erneuern.

Erstens strömte das frische Meereswasser nicht direct ins Bassin, doch zuerst in ein Gefäss, welches mit seinem obern Rande etwa 2 cm über das Wasserniveau herausragte. Das neu zutretende Wasser floss also allseitig über den Rand des Gefässes herunter, und so wurde jede Strömung in den unteren Wasserschichten des Bassins verhütet. Ausserdem war aber das Bassin durch eine Glasscheibe in zwei gleiche Hälften getheilt, welche aber oben mit einander in Verbindung standen, da der obere Rand der Scheibe sich etwa 3 cm unter der Wasseroberfläche befand.

Jede constante Strömung im Raume, in welchem die Caulerpa-Pflanzen vegetirten, wurde in der Weise also verhindert.

Unter dem Einfluss des hellen Lichtes wuchsen die Pflanzen sehr stark und vollkommen normal weiter, trieben kräftige Rhizome mit zahlreichen Rhizoiden, welche schon bald an den Steinen festgewachsen waren; schöne grosse Blätter wuchsen aus den Rhizomen hervor und diese bildeten ihre Prolificationen, gerade wie die

die secundären Spreiten nur unbedeutende Anhänge des Hauptblattes bilden, sondern man beobachtet im Gegentheil fast immer, dass gerade die höheren Prolificationen die längeren sind.

Die Blätter unserer Pflanze kann man somit in zwei Gruppen eintheilen, je nachdem sie Prolificationen tragen oder nicht.

Die Spreiten, welche zur ersteren Gruppe gehören, sind öfters relativ kurz, 1.5 bis 2 cm lang, während sie eine Breite von 1 bis 1.5 cm haben. Der etwa 1 mm dicke Blattstiel geht, allmählich breiter werdend, in die Blattfläche über, welche eine sehr scharfe Einbuchtung an ihrem oberen Rande besitzt, so dass jene Blätter dadurch eine ausgesprochen verkehrt-herzförmige Gestalt erhalten (vergl. Taf. VII, Fig. 13, und Taf. VIII, Fig. 14 A). Solche Blättchen sitzen meistens dem Rhizome direct auf, obwohl man sie auch nicht selten an anderen Stellen finden kann (vergl. Fig. 13, Taf. VII).

Die Prolificationen, welche diesen kleineren Blättchen entsprossen und wie diese wiederum andere Blattspreiten tragen können, besitzen auch den sich allmählich zum Blatte verbreiternden Stiel, sowie die erwähnte Einbuchtung am oberen Rande, doch ist ihre Länge meistens viel bedeutender wie jener, da sie 6 bis 7 cm und noch mehr betragen kann, während ihre Breite zwischen 1 und 2 cm variirt (vergl. Taf. VII, Fig. 13, Taf. VIII, Fig. 14 A). Die Dicke dieser bleibt auch meistens ein wenig hinter der der kürzeren Blätter zurück.

Die zur zweiten Gruppe gehörenden Blätter tragen keine weiteren Prolificationen und schliessen somit die blattartige Sprossung des Rhizomes nach oben zu ab. In der Form sind sie den zuletzt beschriebenen Blättern sehr ähnlich, mit Ausnahme der Spitze, welche hier nicht eingebuchtet, sondern abgerundet ist. Bei einer Breite von 1 bis 2 cm kann ihre Länge bis zu 20 cm betragen und vielleicht in einzelnen Fällen eine noch grössere sein. Letztere stimmen auch mit den längeren Spreiten der vorigen Gruppe darin überein, dass ihre Ränder wellenförmig hin und her gebogen sind.

Die Prolificationen sind fast ausschliesslich neben der Mittellinie des sie tragenden Blattes angeheftet und zwar findet man sie meistens in geringer Entfernung unter der Spitze. Kommen zwei Nebenspreiten auf einem Blatte vor, dann sind sie häufig

symmetrisch zur Mittellinie angeordnet, und wenn drei, so findet man deren zwei unmittelbar neben einander an der einen Seite, und die dritte allein an der gegenüber liegenden (vergl. Fig. 13, Taf. VII, das linke Blatt und Fig. 14 A, Taf. VIII). Die nämliche symmetrische Anordnung der Prolificationen findet man auch an Blättern anderer Form, welche oben abgerundet, die Nebenspreiten in grösserer Entfernung von der Spitze tragen, wie der rechte Theil von Fig. 13 (Taf. VII), sowie Fig. 15 A (Taf. VIII) es zeigen.

Dass die Prolification der normalen Blätter aus inneren Ursachen hervorgeht, zeigten die Pflanzen, welche Mitte Juni in meinen Aquarien lebten und seit einigen Wochen in diesen cultivirt wurden. An diesen beobachtete ich nämlich, dass die zuvor abgerundete Spitze allmählich flach wurde und in der Mitte eine kleine Einsenkung zu zeigen begann (in Folge des gesteigerten Wachsthums an den beiden Seiten), welche dann nachher immer deutlicher wurde. Von einer Prolification war aber noch keine Spur zu entdecken, aber allerdings wird diese bald auftreten müssen. Diese Vermuthung wurde völlig bestätigt durch das Verhalten, welches frische Pflanzen aus dem Hafen von Nisida am 20. Juni zeigten. Viele Blätter hatten gleichfalls die eingesunkene Spitze, aber viel deutlicher wie jene damals in meinen Culturen und vollkommen so wie man sie an proliferirenden Spreiten beobachtet. Auch an diesen war aber dann von einer Prolification noch nichts zu sehen, doch der Anfang dieser trat an einigen auf, nachdem die Pflanzen während etwa vier Tage in den Aquarien verweilt hatten.

Wenn man kräftig wachsende Caulerpa-Pflanzen untersucht, sobald sie aus dem Meere heraufgebracht sind, so bemerkt man, dass alle Blätter eine schöne grüne Farbe besitzen und bei auffallendem Lichte einen schwach bläulichen Schimmer zeigen. Der grüne Ton ist über das ganze Blatt gleichmässig dunkel, nur die Spitzen von einzelnen Blättern bilden davon eine Ausnahme. An den höchsten Prolificationen, welche also keine weiteren Spreiten tragen, bemerkt man nämlich, dass die grüne Farbe in einer Entfernung von etwa 2 mm von der Spitze, bisweilen auch schon von 8 mm an, zu verblassen anfängt und allmählich in reines Milchweiss übergeht. Dieser weisse Saum setzt sich, von der Spitze ausgehend, den Blatträndern entlang nach der Basis hin fort, indem

er sich allmählich verschmälert, um schliesslich gänzlich zu verschwinden. Während der Cultur in den Aquarien nimmt das ganze Blatt bald eine egal grüne Farbe an.

Jene weisse Umsäumung beobachtet man nicht an Blättern, welche proliferirt hatten[1]), und man findet sie auch nur an solchen, welche in kräftigem Wachsthum begriffen sind, wie dieses auch schon von Nägeli[2]) hervorgehoben wurde.

Meine Beobachtungen an frischen Pflanzen, sowie einige wenige Versuche haben es mir wahrscheinlich gemacht, dass das Auftreten und das Verschwinden des weissen Saumes unter dem Einfluss der Schwankungen der Lichtintensität steht, in soweit nämlich das stärkere Licht eine Ansammlung von Chlorophyllkörnern an den beleuchteten Stellen hervorruft, sowie dass schwächere Beleuchtung eine Ursache der Verblassung der Blattfarbe darstellt.

Meine ersten Beobachtungen zeigten mir nämlich immer, dass Blätter, mit einem weissen Saum versehen, welche kurz vorher aus dem Meere heraufgebracht waren, schon einen halben Tag nachher, währenddem sie dem diffusen Lichte ausgesetzt waren, eine egal grüne Farbe angenommen hatten.

Weiterhin beobachtete ich aber in demjenigen meiner Aquarien, welches am weitesten vom Fenster entfernt stand (im Frühjahr 1889), dass alle die Blätter, welche am vorigen Tag heraufgebracht waren, den Tag nachher egal grün aussahen, nur mit Ausnahme von einigen wenigen, welche zufälligerweise von anderen stark beschattet wurden. Dieses brachte mich auf den Gedanken, dass vielleicht das stärkere Licht das Grünwerden hervorrufe; diese Meinung wurde vollkommen bestätigt, denn als später wiederum frische Pflanzen mit weissumsäumten Blättern in ein Glas mit Meereswasser und dann in's Dunkele übertragen wurden, so war selbst nach 5 Tagen der weisse Rand noch unverändert vorhanden und die Blätter sahen vollkommen wie frische aus. An den Pflanzen, welche im grösseren Bassin (vergl. p. 172) cultivirt wurden, beobachtete ich ausserdem, dass alle die Blätter

1) Ausnahmsweise findet man aber auch wohl an diesen den weissen Saum, doch dann allerdings nur an solchen, welche erst vor kurzem ihre Prolification gebildet haben und im Begriff sind, ihr Längenwachsthum für immer abzuschliessen.

2) l. c. p. 142.

am Tage egal grün aussahen, doch dass viele dieser jedesmal Abends um 9 Uhr deutliche weisse Spitzen zeigten. Ein Blatt mit einer solchen Spitze brachte ich dann in eine Schale mit Wasser und bedeckte einen mittleren Querstreifen des Blattes mit Staniol, aus welchem ich zuvor ein Dreieck herausgeschnitten hatte; so wurde die Pflanze dem directen Sonnenlicht ausgesetzt. Schon nach einer Stunde hatte das Weiss an der Spitze eine grünliche Farbe angenommen und war in dem bedeckten, jetzt blassgrünen Querstreifen auf dem Blatte ein scharf contourirtes, dunkelgrünes Dreieck zu sehen; schon innerhalb einer Stunde hatte also an dieser Stelle eine deutliche Ansammlung von Chlorophyllkörnern stattgefunden. Das Grünwerden der Spitzen kann aber auch herrühren von Amyloplasten, welche unter diesen Umständen in Chlorophyllkörner übergingen.

Das allgemeinere Interesse, welches man den Caulerpa-Arten widmet, verdanken sie nicht nur der durch die Einzelligkeit besonders eigenthümlichen, hohen morphologischen Sonderung ihrer Organe, sondern es trägt ausserdem eine anatomische Merkwürdigkeit gewiss sehr viel dazu bei. Diese letztere besteht, wie bekannt, in dem Vorkommen von Zellstoffbalken, welche quer durch den Zellraum verlaufend, entweder zwei Puncte der Wand verbinden, oder auch eine solche mit einem anderen Balken vereinigen, oder schliesslich sich zwischen zwei Balken befinden. Solche Zellstofffäden sind nachher im ganzen Pflanzenreiche ausserdem nur noch in einzelnen wenigen Fällen aufgefunden worden und zwar in der vorderen Aussackung des Embryosackes bei Pedicularis silvatica[1]), sowie in ähnlichen Gebilden bei Veronica triphyllos und Plantago lanceolata[2]), also eigenthümlicher Weise nur an solchen Pflanzen und an solchen Stellen, welche in keinerlei Weise in einiger Beziehung zu Caulerpa stehen.

1) Schacht, Entwickelungsgeschichte des Pflanzen-Embryo. Verhandelingen der Eerste Klasse van het Koninkl.-Nederl. Instituut van Wetenschappen enz, 1850, 3. Reeks, Dl. 2, p. 110; weiter: Die Pflanzenzelle, 1852, p. 26, 161 und 339; und: Ueber die Zellstofffäden in der vorderen Aussackung des Embryosacks von Pedicularis silvatica, Pringsheim's Jahrb., Bd. III, 1863, p. 339—350.

2) Hofmeister, Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen, I, Dicotylen, Abhandl. der math.-phys. Kl. der Kön. Sächs. Ges. der Wiss. 1859, Bd. IV, p. 620, 624.

Ueberall in jeder Caulerpa-Pflanze, und zwar bei C. prolifera sowie bei den übrigen Arten, trifft man diese Balken in überaus grosser Zahl im Rhizome, in den Rhizoiden und in den Blättern an. Während sie im Blattstiele, im Rhizome und in den dickeren Theilen der Rhizoiden in verschiedener Richtung verlaufen, sich kreuzen und dort in Folge zahlreicher Anastomosen ein sehr complicirtes Netzwerk von Fäden bilden, ist ihre Anordnung in den Blättern, der Form dieser entsprechend vollkommen regelmässig, da die zuerst gebildeten alle senkrecht zur Blattfläche stehen, und somit wie zahlreiche kleine Säulchen die beiden Blattflächen gegenseitig verbinden. Erst später werden diese Säulen auch unter sich durch Querbalken, welche also der Blattoberfläche parallel verlaufen, in mannichfacher Weise verbunden. In den kleineren, verkehrt-herzförmigen Blättchen treten diese letzteren früher auf wie in den anderen.

Um einen Begriff zu geben von der grossen Anzahl, in welcher die Balken in den Blättern vorkommen, giebt Nägeli an, dass ihre durchschnittliche Entfernung 0,15''' (wohl gleich etwa 320 μ?) beträgt. Aus unserer später zu besprechenden Figur 12 auf Taf. VII, welche einen Theil aus der Mitte eines ausgewachsenen Blattes bei 200-maliger Vergrösserung darstellt, ersieht man, dass es kaum möglich ist eine durchschnittliche Entfernung je zweier Balken anzugeben (in der Figur deuten die kleinen schraffirten Kreise die Balken, im optischen Durchschnitt gesehen, an). Viel deutlicher sprechen hingegen solche Zahlen, welche angeben, wie viel Balken im Blatte auf einer bestimmten Flächeneinheit, z. B. pro Quadratmillimeter vorkommen; aus der obigen Figur lässt sich diese auf 850 bis 900 pro 1 mm^2 berechnen. Diese Zahlen erhält man aber in bequemerer Weise, wenn man die Balken direct zählt mit Hülfe eines Ocular-Netzmikrometers; in dieser Weise sind alle die unten verzeichneten Zahlen bestimmt worden.

Das Ocular-Netzmikrometer war in quadratische Felder getheilt, deren Breite, bei der benutzten Combination von Objectiv und Ocular, im Object mit einer Länge von 18.3 μ übereinstimmte. Die Angaben in der folgenden Tabelle rühren alle von Zählungen her, welche an einem nämlichen Blatte, 90 mm lang und 10 mm breit, vorgenommen wurden. In der Tabelle sind die wirklichen Grössen der Felder angegeben, in welchen die Balken gezählt wurden, sowie ihre Ent-

fernungen von der Spitze des Blattes, und die Zahl der Balken auf 1 mm² berechnet. Die angegebene Breite des Feldes war die Ausdehnung in der Richtung quer zur Mittellinie des Blattes. Ein *m* deutet an, dass das Feld in der Mittellinie des Blattes lag, *r* dass es sehr nahe am Blattrande gewählt war.

Von den drei ersteren Feldern schloss das zweite und das dritte sich unmittelbar dem vorigen an.

Entfernung von der Spitze in mm	Grösse des Feldes in μ		Stelle	Zahl der Balken pro 1 mm²
	lang	breit		
0	55	220	*m*	4725
0.055	55	"	"	4000
0.110	55	"	"	2130
10	183	"	"	1045
20	"	"	"	880
40	"	"	"	1100
60	"	"	"	780
70	"	"	"	815
80	"	"	"	725
10-	"	"	*r*	3045
20	165	"	"	2430

Aus dieser Tabelle geht erstens hervor, dass die Zahl der Balken im Blatte eine sehr grosse ist, und zweitens, dass sie an der Basis am kleinsten ist, und von dort an nach der Spitze hin zuerst langsam, dann aber sehr schnell zunimmt, während die Zahl in ähnlicher Weise von der Blattmitte zum Rande steigt.

Die sehr schnelle Steigung der Zahl der Balken in der Nähe der Blattspitze geht noch deutlicher aus den folgenden Zahlen hervor, welche erhalten wurden durch Zählung jener in zehn breiten, doch kurzen Feldern, welche unmittelbar auf einander folgten. Die Felder waren wiederum 220 μ breit, doch war ihre Länge (also ihre Ausdehnung in der Richtung der Mittellinie des Blattes) nur 18.3 μ. Zum Versuche wurde ein Blatt gewählt, welches einen sehr schönen weissen Rand zeigte, also offenbar in schnellem Wachsthum begriffen war. Die Zahlen, welche in jener Weise erhalten wurden,

pro 1 mm² berechnet, sind in der Richtung von der Spitze zur Basis folgende:

	12000 Balken pro 1 mm²
	7040
	6270
	5830
	5940
	6100
	5610
	6600
	6490
Mittel	6880

Da die Abnahme der Häufigkeit der Balken nur davon herrührt, dass sich die Fläche, auf der sie vorkommen, durch Wachsthum und Turgorausdehnung vergrössert hat, so kann man aus den obigen Zahlen schliessen, dass diese Ausdehnung an der Spitze des Blattes am grössten ist, und nachher allmählich erlischt. Meine directen Versuche über die Turgorausdehnung der Organe von Caulerpa haben diesen Schluss vollkommen bestätigt. Aus jenen, bisher nicht publicirten Resultaten erwähne ich nur, dass die Turgorausdehnung in den ausgewachsenen Organen 3—10 pCt. betragen kann; innerhalb eines jeden Blattes nimmt die Ausdehnung aber von der Basis nach der Spitze hin zu, so dass diese an letzterer Stelle $2^1/_2$ Mal so gross sein kann, wie an der Basis. An der äussersten Rhizomspitze beobachtete ich in einem Falle eine Verkürzung von nicht weniger wie 23 pCt.

Aus der ziemlich regelmässigen Abnahme der Balkenzahl von der Spitze nach der Basis hin geht ausserdem hervor, zumal in Verbindung mit den Resultaten der Grösse der Turgorausdehnung, dass die neuen Balken ausschliesslich oder doch fast ausschliesslich an der äussersten Blattspitze gebildet werden.

In den Blättern, sowie auch in den anderen Organen unserer Pflanze bildet der protoplasmatische Inhalt hauptsächlich einen Wandbeleg, welcher also die ganze Zellwand von innen bekleidet. Ausserdem setzt sich das Plasma aber über die Oberfläche der Balken fort, und drittens findet man es als sehr zahlreiche Stränge

von ungleicher Dicke, welche die Zellflüssigkeit in verschiedenen Richtungen durchsetzen und zwischen den Balken ausgespannt sind. In den Organen von Caulerpa könnte man im Protoplasma also drei Theile unterscheiden: den Wandbeleg, das Balkplasma und die Plasmastränge, welche Theile aber nicht streng gesondert sind, doch im Gegentheil an tausenden Stellen in vielfachste Verbindung treten. Jeden dieser Theile werden wir jetzt gesondert betrachten.

Im Wandplasma sind die Chlorophyllkörner, welche den Blättern ihre dunkelgrüne Farbe verleihen, eingebettet und bilden dort, zumal in den ausgewachsenen Blättern, eine ununterbrochene Schicht, also ähnlich wie man eine solche bei Vaucheria und Nitella beobachtet, und wie sie auch z. B. bei der im Golfe von Neapel vorkommenden Valonia zu sehen ist.

Wenn man aber die Blätter untersucht, welche den beschriebenen weissen Saum zeigen, so nimmt man dort an der äussersten Spitze nur trübes Plasma wahr (ähnlich wie man es in den Meristemzellen höherer Pflanzen beobachtet), welches an der äussersten Spitze den ganzen Raum zwischen den beiden Blattflächen erfüllt. Das trübe Aeussere wird ihm von den zahlreichen ungefärbten, winzigen, höchstens 0.5 μ messenden Körnchen verliehen, welche in ihm eingebettet sind. Ueber die ganze weisse Strecke zeigt das Plasma das nämliche Verhalten, während dort, wo die Farbe allmählich in Grün übergeht, zuerst wenige, nachher immer mehr Chlorophyllkörner auftreten, bis schliesslich diese so massenhaft vorkommen, dass sie zusammen die erwähnte lückenlose Schicht bilden.

Zu wiederholten Malen habe ich versucht, in dem Wandbeleg Plasmaströmungen wahrzunehmen. Dass in der Chlorophyllkörnerschicht keine Verschiebungen stattfinden, war leicht zu sehen, doch ob die unter dieser liegende Plasmaschicht in Bewegung sei, wie dieses z. B. bei Nitella der Fall ist, liess sich viel weniger leicht constatiren. Die Ursache dieser Schwierigkeit ist eine doppelte; erstens, weil man bei den Blättern von Caulerpa nicht, wie bei Nitella, auf den Seitenrand der Zelle einstellen kann, in welcher Weise man bei letzterer die Bewegung am leichtesten auffindet. Bei Caulerpa lässt sich dieses nicht ausführen, weil die Blätter nach den Rand hin schneidend zulaufen, und ausserdem, weil, wie nachher beschrieben werden wird, gerade dort die Intensität der

Plasmabewegung eine äusserst geringe ist. Zweitens war es schwer, die Strömung in der Wandschicht genau zu untersuchen, weil vielfach die Plasmafäden, welche zwischen den Balken vorkommen und eine kräftige Bewegung zeigen (vergl. unten), so nahe unter der Wandschicht liegen, dass es schwer ist, die letztere für sich allein genau zu beobachten; die geringe Durchsichtigkeit der Blätter bildet ausserdem einen weiteren Uebelstand dabei.

Bei Blättern von Pflanzen, welche erst vor kurzem aus dem Meere heraufgeholt waren, habe ich allerdings hin und wieder Strömungen in einzelnen, schmalen Bahnen im Wandbeleg beobachtet, doch, wenn solche vielleicht auch häufiger sind, als ich constatiren konnte, so kann ich trotzdem mit Bestimmtheit aussagen, dass von einer intensiveren Bewegung im Wandbeleg, wie man sie z. B. in vielen Parenchymzellen höherer Pflanzen beobachten kann, oder sogar von einer typischen Rotation, wie sie in den ebenfalls sehr grossen Zellen von Nitella und in den Wurzelhaaren, z. B. von Hydrocharis, vorkommt, bei den Blättern von Caulerpa gar nicht die Rede sein kann.

Dass die Zellstoffbalken im Blatte von einer Plasmaschicht umgeben sind, geht schon aus der directen Beobachtung hervor, und Fig. 12 auf Taf. VII kann dieses zeigen. Der erwähnte Umstand aber, dass die Balken alle senkrecht zur Blattfläche stehen, schliesst jede Möglichkeit der Constatirung einer Bewegung in jenen Schichten vollkommen aus. In Analogie mit den unten (im IV. Abschnitt) zu besprechenden Resultaten, welche die Beobachtung des Plasma der Rhizoiden lieferten, darf man aber annehmen, dass, wenn auch Strömungen an den Balken entlang vorkommen können, ihre Bewegung eine langsame ist, so dass man ihr nur eine ganz untergeordnete Bedeutung beilegen kann; zumal ist dieses der Fall, da jene nur von Wichtigkeit sein können, wenn zu gleicher Zeit im Wandplasma energische Strömung stattfindet; wir sahen aber, dass diese fast vollkommen fehlt.

Ausser dem Protoplasma, welches Zellwand und Balken anliegt, wurden schon, als dritter Theil, die Stränge erwähnt, welche zwischen den Balken ausgespannt, mit den diesen bekleidenden Schichten in Verbindung treten. Diese Stränge, welche von sehr verschiedener Mächtigkeit sind, verlaufen alle der Blattfläche nahezu parallel und

stehen also nicht oder nur ausnahmsweise mit der peripheren Plasmaschicht in Verbindung.

Die Fig. 12 auf Taf. VII (welche mit der Camera lucida gezeichnet wurde, indem das Mikroskop etwa auf die Mitte zwischen den beiden Blattflächen eingestellt war) zeigt, in wie vielfacher Weise die Balkenschichten durch jene Stränge unter sich verbunden sind; ausserdem aber wünsche ich hier zu erwähnen, dass ich niemals auch nur einen einzigen Balken beobachtet habe, auf dem nicht wenigstens zwei Plasmastränge endigten.

Die Zellstoffbalken sind in der erwähnten Figur durch kleine schattirte Kreise angedeutet, weil man sie im Blatte stets im optischen Durchschnitt wahrnimmt; zwischen diesen sieht man die sehr zahlreichen Stränge verlaufen, und bemerkt, dass diese mannigfache Verschiedenheiten zeigen in Länge und Dicke, sowie auch in der Richtung. Meistens gehen sie direct von der einen Plasmaportion, welche um einen Balken gelagert ist, zu einer anderen, und nur an einzelnen Stellen sieht man, dass ein Strang, von einem Balken ausgehend, auf einen anderen Strang trifft. Obwohl, wie gesagt wurde, die Richtung der Ströme sehr verschieden ist, so weicht doch die der breiteren, mächtigeren Stränge nur wenig von der der Mittellinie des Blattes ab (diese letztere ist in der Figur durch den daneben gezeichneten Pfeil angegeben).

Die Stränge befinden sich aber nicht alle in einer nämlichen Ebene, vielmehr konnte ich öfters constatiren, dass öfters diejenigen, welche auf einem nämlichen Balken endigten, an verschieden hoch liegenden Stellen mit seiner Plasmaschicht in Verbindung traten; z. B. war dieses der Fall mit dem quer verlaufenden, dünnen Strange, welcher auf dem mit *a* bezeichneten Balken endigt, und welcher über alle anderen, ihn kreuzenden Stränge herlief.

War es vorhin nicht möglich, irgend welche erhebliche Verschiebungen vom Plasma in den Schichten zu beobachten, welche die Zellwand und die Balken bekleiden, um so weniger Mühe kostet es, die lebhafteste Strömung in allen Plasmasträngen zu constatiren. Bisweilen geht diese Bewegung nur in einer Richtung vor sich, um dann bald nachher mit der entgegengesetzten abzuwechseln, meistens aber werden auf einem nämlichen Strange Körner in ent-

gegengesetzte Richtungen fortgeschoben, und selbst an den dünnsten, vollkommen hyalinen Fäden kann man solches wahrnehmen.

In mehreren Strömen habe ich die Geschwindigkeit der Bewegung gemessen und dafür ziemlich gleichmässige Zahlen erhalten; hierbei soll man beachten, dass diese Messungen an differenten Exemplaren und an verschiedenen Tagen stattfanden und also auch bei verschiedener Temperatur angestellt wurden; im Durchschnitt mag diese etwa 25° C. betragen haben. Die gefundenen Geschwindigkeiten sind, in ansteigender Folge geordnet, die folgenden: 110, 110, 115, 120, 125, 125, 128, 145, 150, 165, 165, 170, 170, 170, 170, 180 μ pro 1 Minute.

Die Zahl und die Grösse der Körner, welche mit dem Strome fortbewegt werden, sind öfters von Einfluss auf die Resultate der Messungen der Geschwindigkeit, hauptsächlich weil man genöthigt ist, bei diesen Bestimmungen gerade die grössten Körner im Auge zu behalten, und diese am häufigsten den Störungen und Hemmungen ausgesetzt sind; die kleineren Körner sind dagegen meistens nicht über eine gewisse Strecke neben den grösseren zu verfolgen. Um diesen Einfluss zu bestätigen, bestimmte ich die Geschwindigkeit der Bewegung in einem Strange, welcher sehr viele Körner führte, und in einem daneben liegenden hyalinen, auf dem sich nur ein einzelnes Korn fortschob. Der erstere Strom zeigte nun eine Geschwindigkeit von 115 μ und gleich nachher von 110 μ, während das einzelne Korn auf dem dünnen Strange 170 μ pro Minute zurücklegte.

Die Geschwindigkeit, mit der die Bewegung in den centralen Strömen (wie ich die zwischen den Balken ausgespannten Plasmastränge nennen möchte) vor sich geht, ist nicht an allen Stellen des Blattes gleich; in dem mittleren Theil des Blattes sind die Unterschiede zwar unerheblich, doch nach der Spitze und den Rändern hin nimmt die Geschwindigkeit ab, bis an jenen Stellen schliesslich keine Bewegung mehr wahrzunehmen ist. An der Spitze habe ich diese noch bis in einer Entfernung von 30 μ, an den Seitenrändern bis zu 16 μ des äussersten Blattrandes beobachten können; die Geschwindigkeit habe ich dabei aber nicht bestimmt, doch war diese allerdings eine ausserordentlich langsame.

Dass die Geschwindigkeit an der Blattspitze geringer ist wie in

einiger Entfernung davon, geht erstens hervor aus zwei Bestimmungen, die ich an einem nämlichen Blatte ausführte, die eine in einer Entfernung von 2 mm, die zweite von nur 0.2 mm von der Spitze; die erstere lieferte die Zahl 160 μ, die zweite nur 66 μ pro Minute. Nachher habe ich in einem anderen Blatte die Geschwindigkeit der Strömung an verschiedenen Stellen, alle in der Mittellinie liegend, gemessen. Das Blatt war, den Stiel nicht mitgerechnet, 50 mm lang. Die gewonnenen Zahlen, alle Mittelwerthe aus je 3 oder 4 Bestimmungen, sind folgende:

Entfernung von der Blattspitze:	40	33	26.5	20	13	6.5	2.5 mm.
Geschwindigkeit:	160	170	153	160	168	160	100 μ pro 1'.

Aus diesen Angaben geht also hervor, dass, wenn man die Beobachtungsfehler in Betracht zieht, man sagen kann, dass die Geschwindigkeit der Strömung in der Mittellinie des Blattes im Durchschnitt unverändert bleibt, bis vielleicht etwa 4 mm unter der Spitze, um dann ziemlich schnell abzunehmen.

Etwas Aehnliches lehren die Bestimmungen, welche an einem anderen Blatte ausgeführt wurden an elf verschiedenen, neben einander liegenden Stellen zwischen den Blatträndern. Die dabei erhaltenen Zahlen (vergl. unten) sind nach der Reihenfolge geordnet, also von dem einen Rand, über die Blattmitte zum anderen Rand; das Blatt war 9 mm breit, so dass jede zwei Stellen ungefähr 0.75 mm von einander entfernt waren, während auch die Beobachtungen nahe am Rande je 0.75 mm von diesem angestellt wurden. Die Zahlen geben, wie oben, den Weg an in μ, zurückgelegt in einer Minute, und sind auch hier Mittelwerthe aus je 3 bis 4 Wahrnehmungen:

Geschwindigkeit:

Rand					Blattmitte					Rand
157	157	175	165	170	175	165	175	157	147	126 μ pro 1'.

An einem zweiten Blatte bestimmte ich ausserdem die Geschwindigkeit in der Mitte auf 170 μ, und in einer Entfernung von etwa 0.1 mm von Blattrande auf nur 100 μ.

Auch aus diesen Angaben geht also hervor, dass die Schnelligkeit in dem mittleren Theile des Blattes eine fast gleichmässige ist, um dann nach den Rändern hin schnell geringer zu werden.

Niemals ist es mir gelungen in den feinen Strängen, in unmittelbarster Nähe von der Blattspitze oder vom Blattrand auch nur eine Spur von Bewegung zu entdecken.

Es ist wohl einleuchtend, dass bei der Beurtheilung der Rolle, welche die Protoplasmaströmung beim Stofftransport spielt, nicht nur die Bewegungsgeschwindigkeit von Einfluss ist, sondern dass man dabei ausserdem die Quantität des sich bewegenden Plasma in Betracht zu ziehen hat. Wenn man zu diesem Zwecke die Fig. 12 auf Taf. VII betrachtet, so sieht man, dass die centralen Ströme eine sehr verschiedene Dicke aufweisen, indem mit den dickeren zahlreiche, äusserst dünne und vollkommen hyaline untermischt sind. Der Unterschied in der Mächtigkeit der benachbarten Ströme unter einander ist aber nur in der Nähe vom basalen Theile der Mittellinie des Blattes eine so grosse, da nach der Spitze hin, sowie auch auf den Seiten nach den Rändern hin, die Differenz immer geringer wird, bis die dickeren fast gänzlich den dünneren gleich geworden sind. Da, wie es die Beobachtung lehrt, in allen Strängen alles Plasma in fortwährender Bewegung ist, so geht aus dem obigen hervor, dass die Quantität der fortgeschafften Plasmamengen nahe bei der unteren Hälfte der Mittellinie am grössten ist und dass sie von dort aus nach allen Seiten allmählich abnimmt.

Da nun die Geschwindigkeit eine vollkommen ähnliche Veränderung an den verschiedenen Stellen des Blattes aufweist, so geht aus der Combination beider hervor, dass die Intensität der Protoplasmabewegung, welche man als das Product von Geschwindigkeit und Volum der sich bewegenden Plasmamassen auffassen kann, aus doppelter Ursache an der Blattbasis die grösste sein muss, um von dort aus geringer zu werden, bis sie schliesslich fast Null wird.

Das Protoplasma, welches bei Caulerpa durch den Blattstiel mittelst der wenig zahlreichen, mächtigen Stränge in die Spreite eintritt, verbreitet sich in dieser also in ähnlicher Weise, wie es das Blut im Körper der höheren Thiere thut, nachdem es aus dem Herzen in die Aorta übergetreten ist. Diese Hauptblutbahn theilt sich bald in einige kleinere, diese theilen sich wiederum zu wiederholten Malen, und so entstehen schliesslich die Haargefässe, welche die Peripherie des Körpers einnehmen. Alle jene, welche aus einem nämlichen Hauptstamme hervorgegangen sind, haben zusammen einen ganzen,

bestimmten Körperabschnitt zu versorgen; zu gleicher Zeit gehen ausserdem an vielen Stellen kleine Zweige direct von den Hauptstämmen ab, welche die Aufgabe haben, die unmittelbare Nähe jener zu ernähren. Ein Unterschied besteht aber darin, dass der Thierkörper ausserdem eigene Gefässe für das nach dem Herzen zurückkehrende Blut besitzt, während bei Caulerpa die Bewegungen in den entgegengesetzten Richtungen innerhalb der nämlichen Bahnen vor sich gehen.

Es leuchtet durch Obiges schon ohne Weiteres ein, dass auch bei Caulerpa die innerhalb des Blattes in die eine Richtung beförderte Plasmamenge gleich der sein muss, welche sich in der entgegengesetzten Richtung bewegt, und ausserdem, dass die Quantität, welche sich im Blattstiel bewegt, gleich der Summe sein muss von allen den Plasmaportionen, die von allen Strömen zusammen im Blatte fortgeschafft werden, z. w. wenn alle jene Quantitäten auf die nämliche Zeiteinheit bezogen werden.

Obwohl für die genauere Beobachtung der Strömungen die Chlorophyllschicht sehr hinderlich ist, so wird die Verfolgung der Bewegung in den Strängen durch einen anderen Umstand ungemein erleichtert, und dieser beruht auf den Chlorophyllkörnern, welche sich in den Strömen vorfinden und von diesen fortgeschoben werden; indem man auf diese ziemlich grossen, dunkelgrünen Körner einstellt, kann man auch, trotz der geringen Durchsichtigkeit des Blattes, die Strömung leicht verfolgen. Doch nicht einzelne solcher Körner werden bei der Bewegung mitgeschleppt, sondern immer ist ihre Menge sehr erheblich, und zwar in der Weise, dass es öfters den Anschein hat, als wenn die Ströme zum grössten Theile aus diesen beständen. Bei schwacher Vergrösserung sehen die Ströme aus, als wenn sie nur aus egal grün gefärbtem Plasma beständen, und selbst mit dem blossen Auge kann man die dickeren Stränge daher ohne Mühe unterscheiden, indem sie sich als dunkelgrüne Streifen scharf von dem helleren Theil des Blattes abheben.

Auf jedem Blatte lassen sich eine grosse Anzahl solcher Streifen beobachten und ich habe mich zu wiederholten Malen überzeugt, dass diese Streifen nichts anderes sind als die Protoplasmaströme, und dass in ihnen stets die lebhafteste Bewegung sichtbar ist.

An Blättern, welche frisch aus dem Meere heraufgebracht sind,

bei welchen, wenn sie kräftig wachsen, öfters ihre grüne Farbe mit einer schwach grauen untermischt ist, treten jene Streifen häufig noch ein wenig deutlicher hervor, wie sonst. Die mikroskopische Betrachtung lehrt, dass die Ursache beider Erscheinungen auf dem Umstande beruht, dass in solchen Blättern mehr Chlorophyllkörner wie sonst in den centralen Strömen verweilen, so dass deren weniger im Wandbeleg vorhanden sind, und dort nicht mehr eine zusammenhängende Schicht bilden. Dadurch sind die Ströme dunkler und müssen sie sich schärfer von der Umgebung abheben; ausserdem vermischt sich in unserem Auge die grüne Farbe der Chlorophyllkörner mit dem Weiss des sehr körnerreichen Plasma, welches sich in den Lücken der wandständigen Chlorophyllschicht vorfindet, und in der Weise wird also der graue Farbenton hervorgerufen.

Doch nicht nur kann man in den lebenden Blättern diese Stränge verfolgen, sondern auch in getödteten Exemplaren lassen diese sich ohne Mühe erkennen, da sie fast gleich deutlich sichtbar bleiben. Die Ursache dieses beruht darauf, dass nicht, wie in anderen Zellen die Protoplasmaströme beim Sterben zerreissen und mit dem übrigen Plasma verschmelzen, sondern dass bei Caulerpa jene Stränge erstarren, ohne ihre Form zu ändern, und zwar findet dieses statt, sowohl wenn man die Pflanzen in Alkohol aufhebt, als auch wenn man sie in der gewöhnlichen Weise zwischen Papier trocknet[1]).

Im letzteren Falle behalten die Blätter ihre schöne grüne Farbe bei, doch in Alkohol aufbewahrt geben die Chlorophyllkörner allmählich ihren Farbstoff an diese Flüssigkeit ab, so dass das Blatt gänzlich entfärbt wird. Die Stränge treten dann natürlich weniger scharf hervor, doch sind sie nicht verschwunden, denn besonders bei durchfallendem Lichte sind sie auch dann noch deutlich als dunklere Linien sichtbar. Ausserdem aber besitzen wir in diesem Falle in einer Jodlösung das sehr wirksame Mittel, sie wieder schärfer hervortreten zu lassen, erstens weil diese die protoplasma-

1) Ausser an Herbar-Exemplaren von Caulerpa prolifera fand ich jene dunkelgrünen Streifen nämlich auch noch an solchen von C. scalpelliformis, von C. filiformis und besonders schön an denen von C. denticulata; bei den anderen untersuchten Arten waren sie hingegen nicht oder kaum zu sehen.

tische Grundlage jener Stränge gelb färbt und ausserdem weil die Chlorophyllkörner meistens viel Stärke enthalten und dieses also durch das Jodium blau gefärbt wird, so dass die Stränge sich dann als scharfe dunkelblaue Linien von den übrigen Blatttheilen abheben.

In Alkohol kann man sie aber auch während längerer Zeit mit Beibehaltung ihrer ursprünglichen Farbe aufbewahren, wenn man nur dafür sorgt, die Pflanzen in einem möglichst kleinen Volum von nicht zu starkem Alkohol von 40 bis 60 pCt. im Dunklen aufzubewahren und den Alkohol nicht zu erneuern. Vielfach verblasst die Farbe der Blätter dann nur wenig, und solche Exemplare können dann als Demonstrationsobjecte die lebenden fast vollkommen ersetzen. Nur soll man dabei beachten, dass die Blätter während des Sterbens ihre Turgorausdehnung verlieren und sich somit verkürzen, welche Verkürzung an kräftig wachsenden Blättern bis zu 10 pCt. steigen kann. Da die Ströme sich nun nicht in solchem Maasse contrahiren, gehen die zuvor geraden Linien beim Tode in sanft hin- und hergebogene über; für eine Uebersicht über ihren Verlauf schadet dieser Umstand aber nicht im mindesten.

Da also die Protoplasmaströme ohne Mühe auch makroskopisch sichtbar sind, und, wie festgestellt wurde, die Intensität der Bewegungen sich ungefähr nach der Breite jener abschätzen lässt (vergl. oben), so bieten jene uns ein sehr bequemes Mittel dar, die relative Intensität der totalen Plasmabewegung an verschiedenen Stellen des Blattes zu ermitteln und unter sich zu vergleichen. Durch diesen Umstand eignet Caulerpa sich also ausgezeichnet zur Prüfung des oben erwähnten Satzes von de Vries, nach welchem die Protoplasmaströme vorwiegend den Transport der organischen Baustoffe in den Pflanzen vermitteln sollen.

Aus der jetzt folgenden Beschreibung von dem Verlauf der stärkeren Protoplasmaströme in den verschieden geformten Blättern wird dieses am deutlichsten hervorgehen.

An Blättern, welche keine Prolification tragen (es ist dabei einerlei, ob sie direct aus dem Rhizome hervorgehen oder einem anderen Blatte aufsitzen, wie z. B. die beiden höchsten Prolificationen auf dem linken Blatt von Fig. 13, Taf. VII, sowie jene von Fig. 14 A, Taf. VIII), bemerkt man, dass aus dem dunkelgrünen

Blattstiele eine grosse Zahl neben einander verlaufender Ströme in die Spreite übertreten und sich in dieser fächerförmig ausbreiten, so dass jeder dieser nach einem bestimmten Punkt vom Rande gerichtet ist. Die Ströme sind dabei entweder völlig gerade oder sie zeigen eine schwache Concavität nach der Seite der Blattränder hin. Die Streifen sind im unteren Theile um so dicker, je länger sie sind, und daher sind die mittleren auch immer die stärkeren. Alle werden aber nach der Spitze hin allmählich schwächer, bis sie sich schliesslich, in einer Entfernung von 2 oder 3 mm vom Rande, der Beobachtung mit dem blossen Auge völlig entziehen; doch auch dann kann man sie noch weiter mit Hülfe des Mikroskops verfolgen, und zwar entweder gänzlich bis zum Blattrande, oder wenn der Strom zur Blattspitze gerichtet war, bis fast an jene Stelle, wo unter der Spitze die centralen Stränge zum ersten Male sichtbar werden.[1])

Die Weise, in der das Strombündel aus dem Blattstiele in die Lamina übertritt, und die, in der es sich verbreitet, ist bei proliferirenden Blättern eine der beschriebenen vollkommen ähnliche. Wenn das Blatt aber eine Prolification trägt, so wird dadurch eine Aenderung im weiteren Stromverlauf hervorgerufen. Zwar biegen sich auch hier die äusseren Ströme vom Bündel mit schwacher Krümmung nach aussen und richten sich, allmählig sich verschmälernd, dem Rande zu, doch diese sind die dünneren; die übrigen kräftigeren hingegen bleiben nahe beisammen und bilden so ein dunkles Bündel, welches das Blatt in der Mitte durchzieht, und, wenn jenes nur eine Prolification trägt, sich zur Anheftungsstelle dieser richtet, in dessen Stiel dann alle die Ströme gesondert mit kurzem Bogen eintreten (vergl. Fig. 10A, Taf. VII, und Fig. 14A, Taf. VIII). Durch die zumeist seitliche Stellung der Prolificationen an den Blättern tritt besonders deutlich hervor, dass die Richtung, welche das Bündel nimmt, ausschliesslich von der Lage der Anheftungsstelle jener secundären Spreite bedingt wird.

---

1) Die Distanz, in der dieses stattfindet, hängt mit der Wachsthumsintensität des Blattes zusammen; je breiter der erwähnte weisse Saum ist, je mehr feinkörniges Plasma sich also an einer schnellwachsenden Spitze angesammelt hat, um so weiter von der Spitze werden die centralen Ströme zuerst sichtbar; in erwachsenen Blättern hingegen kann man sie bis sogleich unter die Spitze verfolgen.

Wenn ein Blatt zwei Prolificationen in gleicher Höhe zu verschiedenen Seiten neben der Mittellinie trägt (wohl der allgemeinste Fall, vergl. Fig. 12, Taf. VII, das linke Blatt, und Fig. 14A, Taf. VIII), so theilt sich das mittlere, stärkere Streifenbündel schon in der unteren Blatthälfte in zwei Theile, welche eine kurze Strecke neben einander herlaufen, doch dann jedes für sich, nach der Anheftungsstelle der betreffenden Prolification hingehen.

In den kürzeren, verkehrt-herzförmigen Blättchen verhalten die Strombündel sich in vollkommen ähnlicher Weise wie in den längeren Spreiten, nur sind sie in jenen, ihrer geringeren Länge wegen, etwas weniger auffallend, obwohl sie noch stets sehr deutlich hervortreten (vergl. Fig. 13, Taf. VII, und Fig. 14A, Taf. VIII).

Trägt ein längeres Blatt mehrere Prolificationen, wie z. B. das rechte in Fig. 13, Taf. VII (welches einen nicht zu häufigen Fall repräsentirt), so sieht man aus jeder Prolification ein kleines Bündel heruntergehen, dessen einzelne Ströme eine kurze Strecke neben einander verlaufen, und sich dann jedes für sich, den Strömen vom grossen, mittleren Bündel anschliessen.

Bisweilen sieht man an einem Blatte (wie z. B. am linken von Fig. 13, Taf. VII, sowie auch am kürzeren, welches diese Spreite trägt), dass von den beiden Prolificationen, welche ihm aufsitzen, zur einen ein schmäleres Bündel, aus dünneren Strömen zusammengesetzt, hinzieht als zur anderen. Dann bemerkt man aber ausserdem, dass die Ströme nicht nur in der ersten Prolification deutlicher hervortreten wie in der zweiten, sondern auch, dass erstere in kräftigerem Wachsthum begriffen ist.

Alle jene Beobachtungen lassen sich ganz einfach erklären, wenn man mit de Vries annimmt, dass die Protoplasmaströme in directer Beziehung zum Nahrungstransport und also zur Ernährung der Organe stehen.

Aus dieser Annahme erklärt sich nämlich erstens das allmähliche Dünnerwerden der Ströme des fächerförmig sich ausbreitenden Bündels, welches man in den höchsten Prolificationen antrifft. Da jeder Strom ein bestimmtes Areal im Blatte zu versorgen hat, und daher, an dieser Stelle angelangt, fortwährend kleine Seitenzweige abgeben muss, so hat der weiterlaufende Hauptstrom einen stets kleiner werdenden Abschnitt zu ernähren und wird dementsprechend

ortwährend dünner werden, bis er sich in lauter kleine, dem blossen Auge unsichtbare Strömchen auflöst.

Zweitens ist es begreiflich, warum bei proliferirenden Blättern ein starkes Strombündel direct aus dem Blattstiele nach der Prolification hinzieht, während die Ströme, welche sich im Blatte selber verbreiten, nur relativ schwach sind. Die Ströme, welche im proliferirenden Blatte das Bündel bilden, haben doch nicht nur in diesem ein Areal zu versorgen, sondern ausserdem ein zweites in der Prolification, welches letztere ausserdem viel mehr Nahrung bedarf, als jenes im Blatte selbst, weil die Prolification noch im Wachsthum begriffen ist, während das proliferirende Blatt schon zu wachsen aufgehört hat. Aus dem Umstande, dass das Nahrungsbedürfniss eines Blattes um so grösser ist, je erheblicher sein Wachsthum, geht ausserdem einerseits hervor, warum in einer der beiden erwähnten Prolificationen von Fig. 13, Taf. VII, die Ströme deutlicher sichtbar sind, wie in der zweiten, und ausserdem warum in dem diese tragenden Blatte zum ersteren das kräftigere Bündel hinzieht.

Dass die Plasmaströme in den Blättern, wie auch in den anderen Organen, nicht nur dazu dienen ihnen Nährstoff zuzuführen, sondern ausserdem die von ihnen producirten oder aufgenommenen Substanzen nach anderen Theilen der Pflanze hin zu transportiren, kann auf die obigen Betrachtungen keinen Einfluss ausüben; dieses geht schon aus dem oben hervorgehobenen Umstande hervor, dass die Quantitäten des zu- und des abgeführten Plasma stets einander gleich sein müssen.

Jede Ursache also, welche den einen (z. B. den zum Blatte hingehenden) Strom verstärkt, muss auch nothwendiger Weise den anderen (also in diesem Falle den zurückkehrenden) kräftiger machen. Es ist daher nicht in jedem einzelnen Falle nothwendig zu untersuchen, ob Zufuhr oder Fortschaffung von Nährmaterial die Veranlassung zu einer intensiveren Plasmaströmung bildet, da jede für sich eine Verstärkung der Strömung in beiden Richtungen hervorrufen muss.

Die beschriebenen Erscheinungen, welche nur aus der makroskopischen Beobachtung unverletzter Pflanzen hervorgingen, sind …llkommener Weise zu erklären, wenn man den Satz von

de Vries annimmt, dass der Stofftransport von den Protoplasmaströmen eingeleitet wird, während umgekehrt die Zutreffendheit der Erklärung auf die Anwendbarkeit von jenem Satze auch auf Caulerpa und somit auf ihre grosse Wahrscheinlichkeit im Allgemeinen hindeutet. Durch betreffende Experimente, welche jetzt beschrieben werden sollen, lässt sich dieses noch weiter beweisen.

Die Veranlassung zu diesen Versuchen bildete u. A. die genauere Beobachtung der dunklen Linien, welche auf dem längeren Blatte von Fig. 13, Taf. VII, sichtbar waren. An diesem fanden sich nämlich fünf Prolificationen vor, vier zur linken Seite der Mittellinie und eine zur rechten. Gerade unter letzterer, in gleicher Höhe mit den zwei unteren Blättchen zur linken Seite, beobachtete ich ausserdem noch einen kurzen cylindrischen, nach oben etwas verbreiterten Auswuchs, welcher sich als der Stiel eines durch irgend eine unbekannte Ursache abgebrochenen Blattes erkennen liess; die Verletzung musste schon vor längerer Zeit stattgefunden haben, da die Wunde vollkommen geheilt war.

Obwohl nun deutliche Strombündel von den fünf noch vorhandenen Prolificationen herunterliefen, wie man sie auch stets an allen übrigen proliferirenden Blättern antrifft, so fehlte ein solches gänzlich am Stiele der abgebrochenen Prolification. Da ich aber aus Analogie meinte schliessen zu dürfen, dass ein Strombündel dagewesen sein musste, als noch das Blättchen vorhanden war, so war ich genöthigt anzunehmen, dass alle jene Ströme verschwunden waren, nachdem die Prolification von der Pflanze getrennt wurde Sind die Ströme also nur so lange da, als die Prolification anwesend ist, so liefert dieses einen schlagenden Beweis, dass die Protoplasmaströme beim Nahrungstransport betheiligt sind, weil nach dem Aufhören des Nahrungsbedürfnisses auch die Ströme völlig verschwinden.

Mein Versuch, ähnliche Veränderungen künstlich hervorzurufen und genauer zu verfolgen, gelang mir vollkommen.

Eine Pflanze, welche zu einem später (im II. Abschnitt) zu beschreibenden Versuche benutzt wurde, hatte schon seit mehreren Tagen in einem der oben beschriebenen Bassins in strömendem Meereswasser verweilt; sie wurde gezeichnet (vergl. Fig. 14A, Taf. VIII), dann zum Versuche benutzt und nach drei Tagen

wieder gezeichnet (vergl. Fig. 14B). Das Blatt *b*, eine Prolification vom linken verkehrt-herzförmigen Blättchen, trug wiederum drei Prolificationen, zwei unmittelbar beisammen an der vorderen Seite links, und eine dritte (*a*) an der hinteren, rechts von der Mittellinie. Von dem Stiele des sie tragenden Blattes (*b*) aus zog zu letzterer ein dunkeles, breites Strombündel hin, welches in der Nähe der Prolification aus einigen scharfen Linien bestand, die alle in den Stiel eindrangen (vergl. Fig. 14B). Sobald nachdem diese Figur gezeichnet war, entfernte ich die Prolification *a* mittelst eines Rasirmessers, während das Blatt unter Wasser verweilte. Sogleich trat nun aus der Wunde ein Pfropfen dunkelgrünes Protoplasma hervor von sehr schleimiger Consistenz, und etwa $^1/_4$ Minute später war um die Wunde herum ein völlig weisser Flecken aufgetreten, welcher durch den Austritt der Chlorophyllkörner in den Plasmapfropfen hervorgerufen wurde (vergl. Fig. 14C); nach der Blattbasis hin hatte dieser Flecken, von der Wunde aus gemessen, eine Breite von 2.5, an der anderen Seite dagegen von nur etwa 1 mm. Bis zu diesem weissen Felde waren die dahin ziehenden dunkelen Stromlinien unverändert geblieben, doch an der Grenze schienen sie, bei Beobachtung mit dem blossen Auge, plötzlich aufzuhören. Eine Chlorophyllanhäufung, wie sie am oberen Rande des Fleckens beobachtet wurde, und in der Figur durch die zwei neben einander liegenden dunklen Streifen angedeutet wird, fehlte am unteren Rande gänzlich. Die abgeschnittene Prolification liess auch einen dunkelgrün gefärbten Pfropfen Protoplasma hinaustreten, und auch hier wurde der untere Theil des Blattes durch diesen Verlust an Chlorophyll ganz weiss über eine Strecke von etwa 2.5 mm.

Am nächsten Tage liessen sich am Blatte *b* deutliche Veränderungen bemerken. Der weisse Flecken war gänzlich verschwunden, sowie auch die beiden erwähnten dunkelgrünen Streifen über jenem; das Blatt hatte dort wieder seine egal grüne Farbe angenommen. In dem früher weissen Felde waren aber die dunklen Linien nicht wieder aufgetreten, und über ihre ganze Länge bis zum Blattstiele hatte ihre Breite und ihre Schärfe sehr merkbar abgenommen (vergl. Fig. 14D). Zuvor (vergl. Fig. 14B) enthielt das Strombündel, welches zur Prolification *a* hinzog, die dunkelsten und breitesten Linien, und diese traten viel mehr hervor wie die neben ihnen herlaufenden

Streifen; jetzt aber waren alle Ströme in der unteren Blatthälfte gleich deutlich und selbst hatte die Schärfe einiger, welche zu den beiden anderen Prolificationen hinzogen, ein wenig zugenommen. Sieben Tage später hatte sich das Bild nicht weiter geändert; die Veränderungen hatten sich also innerhalb 24 Stunden vollzogen.

Das Resultat des Abschneidens der Prolification zeigte also, dass die sehr kräftigen Ströme dadurch über ihre ganze Länge schwächer und nach oben hin stets dünner wurden, bis sie sich der Beobachtung mit dem blossen Auge völlig entzogen, bevor sie die Stelle erreicht hatten, wo sie früher alle zusammen in den Stiel der Prolification eindrangen. Mit dem Nahrungsbedürfnisse hatte also hier unmittelbar auch die intensivere Nahrungszufuhr durch die breiten Ströme aufgehört.

Eine andere Beobachtung führt ausserdem zum nämlichen Schlusse. Wenn man ein Blatt abschneidet oder auch schwer verwundet, so dass die Communication mit den übrigen Organen der Pflanze sehr gehemmt wird, so beobachtet man (vergl. II. Abschnitt), dass das Blatt nach einiger Zeit, nach etwa 12 Tagen, anfängt, neue Organe zu produciren, sowohl Rhizoiden wie auch Rhizome und Blätter, ohne dass sich zuvor die Stellen bestimmen lassen, wo jene auftreten werden. In ihren ersten Entwickelungsstadien sind die beiden letzteren Organe nicht von einander zu unterscheiden, weil sie als sehr kleine weisse Pünktchen auf dem dunkelgrünen Blatte hervortreten und beide beim weiteren Wachsthume zunächst eine cylindrische Form annehmen. An jenen Stellen braucht das Blatt natürlich mehr Nahrung, wie an anderen, und auch mehr wie an der nämlichen Stelle vor dem Anfang der Neubildung; dementsprechend kann man stets beobachten, dass ein jedes Pünktchen (und an einem Blatte sammt den von ihm getragenen Prolificationen konnte ich einmal deren 25 zählen) von einem kleinen, dunkelgrünen Flecken umgeben ist, und dass zu diesem einige wenige, anfangs meistens nur zwei oder drei, sehr feine, grüne Linien hingehen, welche zuvor nicht sichtbar waren. Je mehr die Pünktchen wachsen, um so schärfer treten die Streifen hervor und um so länger und zahlreicher werden sie, bis sie sich allmählich zu jenen breiten Strombündeln entwickeln, welche zu jedem Prolificationsstiel hinziehen.

Vollkommen Aehnliches beobachtet man an solchen Blättern, welche in der zuvor (p. 177) erwähnten Weise normal, also aus blos inneren Ursachen, mit der Bildung von neuen Prolificationen anfingen, nachdem ihre zuvor abgerundete Spitze sich abgeflacht und die oben beschriebene eingesunkene Spitze sich gebildet hatte (durch noch weiteres Zurückbleiben im Wachsthume der Mittellinie des Blattes).

Der obige Versuch (p. 196) hat also gezeigt, dass die Verringerung des Nahrungsbedürfnisses das Schwächerwerden und das Verschwinden der Ströme einleitet; die letzteren Beobachtungen beweisen hingegen, dass diese beim Wachsen des Nahrungsbedürfnisses nicht nur stärker werden, sondern dass sie ausserdem neu auftreten können[1]. Der ursächliche Zusammenhang zwischen einer erhöhten Nahrungszufuhr und den kräftigen Plasmaströmen wird durch diese Beobachtungen wohl zur Genüge bewiesen.

Die Art der Protoplasmaströmung, wie wir sie in den Blättern von Caulerpa angetroffen haben, weicht von fast allen jenen Bewegungen ab, welche bisher in anderen Zellen beobachtet wurden. Jede Spur von Rotation, also von jener Massenbewegung der ganzen wandständigen Plasmaschicht, welche man sonst in solchen ausserordentlich langen Zellen fast niemals vermisst (Nitella, Hydrocharis u. A.), geht Caulerpa vollständig ab.

Mit Circulation scheint die Plasmabewegung in den Blättern von Caulerpa schon mehr übereinzustimmen, doch nur mit der sogenannten centralen Circulation, wie man sie z. B. in den Haarzellen von Tradescantia, Cucurbita u. s. w. beobachtet. Aber auch hier ist die Uebereinstimmung nur eine scheinbare, da bei Caulerpa, wie schon oben erwähnt wurde (vergl. p. 189), das Plasma hin und zurück den nämlichen Bahnen folgen muss, weil ihr

1) Beim Gebrauch der Ausdrücke „Verschwinden" und „Neuauftreten" der Ströme wird hier Beobachtung des Blattes mit dem unbewaffneten Auge vorausgesetzt. Wenn man die Fig. 12 auf Taf. VII besieht, und die sehr grosse Anzahl der Ströme sowie ihre verschiedene Richtung beachtet, so ist es deutlich, dass die Pflanze eine erhöhte Nahrungszufuhr zu jeder beliebigen Stelle hin hervorrufen kann, auch ohne Hülfe neuer Ströme. Jede Veränderung, welche man an den Strömen beobachtet, wird also auch nur durch Aenderungen in der Stärke der bestehenden Ströme hervorgerufen.

die Wandströme fehlen, welche die Endigungen der centralen Ströme unter einander in Verbindung setzen, wie es bei der Circulation der Fall ist, und durch welchen die in sich selbst zurücklaufenden Bahnen hervorgerufen werden. Nur in einzelnen Fällen können circulationsartige Bewegungen in den Blättern auftreten, doch diese werden nur durch abnormale Umstände hervorgerufen; einige solcher werden am Schlusse des nächsten Abschnittes (p. 233) besprochen werden.

Obwohl also die grösseren Ströme wohl gänzlich im Wandplasma fehlen, so müssen sehr schwache Strömchen dort nothwendig vorkommen. Denn weil die Bewegung fast ausschliesslich in den zwischen Blattober- und -Unterseite verlaufenden Strängen stattfindet und letztere zum Stofftransport dienen, so müssen jene in einer oder anderer Weise im Stande sein, die von der wandständigen Chlorophyllkörnerschicht assimilirten Substanzen in sich aufzunehmen, damit sie diese weiterschaffen können. Da directe Verbindungen zwischen Wandschicht und centralen Strömen fehlen oder allerdings wenig häufig sind, so müssen die Assimilationsproducte durch das Plasma von dem betreffenden Chlorophyllkorn zum nächsten Zellstoffbalken und über diesen hinweg zu den grossen Strömen geführt werden. Die Balken kommen aber in so grosser Menge vor, und die Wege, auf der jene Producte fortgeleitet werden können, sind daher so zahlreich, dass jedes Strömchen für sich nur kurz und schwach zu sein braucht, und es daher kein Wunder nimmt, dass sie nicht, oder allenfalls nur äusserst schwer, aufzufinden sind.

Schon vor längerer Zeit, und zwar seitdem man erkannt hatte, dass die ganze Caulerpa-Pflanze nur einen einzigen ungegliederten Schlauch darstelle, war sie fast berühmt wegen ihrer hohen morphologischen Ausbildung, indem sie stengel-, blatt- und wurzelähnliche Organe producirt. Morphologisch wie physiologisch ist bei ihr also eine weitgehende Arbeitstheilung eingetreten, wie man sie sonst nur bei viel höher organisirten Pflanzen antrifft.

Wie wohl in allen Pflanzenzellen, so muss man auch das Protoplasma bei Caulerpa als aus verschiedenen Organen aufgebaut auffassen, von welchen jedes für sich eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen hat. Bei Caulerpa findet man Hautschicht, strömendes

Plasma, Vacuolenwand, Chlorophyllkörner, Amyloplaste[1]), Kerne etc. Innerhalb eines jeden Protoplasten von allen jenen Zellen, welche solche verschiedenen Plasmaorgane aufweisen, hat also eine anderweitige Arbeitstheilung stattgefunden, weil jedes Organ meistentheils ausschliesslich die ihm zuertheilte Function auszuüben hat, ohne sich um andere, sonst für das Leben der Zelle gleich wichtige, zu kümmern. Caulerpa scheint nun diese Arbeitstheilung noch einen Schritt weiter fortgesetzt zu haben, indem sie die Wirkung von einigen der genannten Organe localisirte und jedem eine bestimmte Stelle im Individuum angewiesen hat, wo es hauptsächlich vorkommt und wirksam ist. Dadurch hat der Protoplast eine erhöhte Leistungsfähigkeit erhalten, indem jetzt einige dieser Organe im Stande sind, möglichst unabhängig von den übrigen zu functioniren.

Jene Localisirung besteht erstens in der Sonderung von einem Theile der Chlorophyllkörner vom strömenden Plasma, indem sie, fest aneinandergeschlossen, eine ununterbrochene Schicht bilden, welche möglichst naheliegt an der Zellwand, also auch an der Umgebung, aus der sie die zur Assimilation nothwendige Kohlensäure bezieht, und fast nur durch die Hautschicht von jener getrennt ist.

Die Chlorophyllschicht, welche also den grössten Theil des Wandbelegs bildet, hat grösstentheils die Function der Assimilation übernommen; doch die fast vollkommene Ruhe, in der sich das dort verweilende Körnerplasma befindet, deutet darauf hin, dass letzterem nicht der Transport der assimilirten Stoffe nach entfernten Stellen der Zelle zur Aufgabe gestellt ist. Jener Transport wird vielmehr, wie oben beschrieben wurde, ausschliesslich von den zahlreichen Strängen übernommen, welche fast nur aus strömendem Plasma oder, was das Nämliche bedeutet, aus Körnerplasma bestehen und in denen überall stets die kräftigsten Strömungen stattfinden. Dass diese Ströme viele Chlorophyllkörner mit sich führen, zeigt, dass auch hier die Sonderung der Functionen keine absolut vollkommene ist,

---

1) Es scheint mir wenigstens, dass das Vorkommen von Stärkekörnern ohne grüngefärbte Plasmahülle, welche man z. B. in den Spitzen der Rhizoiden von kräftig ernährten Pflanzen häufig, ja öfters massenhaft antrifft, Recht giebt zur Vermuthung der Anwesenheit von Amyloplasten. Ich habe aber nicht versucht, dieselben nachzuweisen, und kann also nichts Gewisses darüber mittheilen.

obwohl man hierbei in Betracht ziehen muss, dass die Chlorophyllkörner meistens grosse Stärkekörner umschliessen, und dass somit die Bewegung der Chlorophyllkörner in den centralen Strömen zu gleicher Zeit einen wichtigen Nahrungstransport darstellt.

Obwohl man auch in zahlreichen anderen, kräftig assimilirenden Zellen eine ununterbrochene Wandschicht von Chlorophyllkörnern antrifft, wie z. B. in den Palissadenzellen der Blätter höherer Pflanzen, bei Vaucheria, Nitella u. s. w., so findet gerade bei diesen die Bewegung in der besonders bei Nitella mächtigen Körnerschicht statt, welche die Hauptmasse des Wandbelegs bildet, und es kommt also in keinem dieser Fälle vor, dass die Strömung an einer von ihm vollständig getrennten Stelle vor sich geht.

Keine der anderen Coeloblasten, welche ich zu gleicher Zeit mit Caulerpa in Neapel untersuchte, stimmten in der Art der Plasmabewegung mit ihr überein. Valonia utricularis, Codium tomentosum und Bryopsis plumosa zeigten zwar alle eine periphere Chlorophyllkörnerschicht, doch ohne centrale Plasmastränge. Bei Valonia, in deren Zellen die Chlorophyllkörner so dicht gedrängt liegen, dass sie sich gegenseitig abplatten, gelang es mir ausserdem nicht, auch nur eine Spur von Plasmabewegung in der peripheren Körnerschicht zu entdecken. Bryopsis besitzt eine vollständige Wandlage von Chlorophyllkörnern, welche hier aber eine ellipsoidische Gestalt zeigen; im körnigen Plasma unter jenen konnte ich nur nach wiederholtem Suchen eine Strömung constatiren, doch diese war so wenig kräftig, dass nur in einem der Aestchen und nur an einzelnen Stellen ein schmaler Plasmastreifen in Bewegung gesehen wurde. Die Chlorophyllkörner kommen bei Codium tomentosum viel spärlicher vor, da jene in den blassgrünen Zweigchen kaum ein Zehntel der Oberfläche bedecken mögen. Auch hier war die Plasmabewegung schwer zu beobachten, doch gelang es mir schliesslich, diese zu sehen. Sehr schmale Strömchen verbinden die unregelmässig gestalteten Gruppen von Chlorophyllkörnern, welche wie jene im peripheren Plasma eingebettet sind[1]). Die Be-

1) Wenn man das Mikroskop auf die nach oben gekehrte Seite eines Codium-Aestchens einstellt, so sieht man vielfach eine Anzahl Chlorophyllkörner um sehr zarte, kreisförmige oder elliptische Linien herumgelagert, welche entweder

wegung war stets eine sehr langsame und mit stetigen Verschiebungen und Formänderungen der Chlorophyllkörnergruppen verbunden.

Auch bei **Acetabularia mediterranea** ist das Protoplasma in dem Stiel, sowie in dem Hut und in den Zellen der wiederholt verzweigten Haare nur als eine wandständige Schicht vorhanden, in der kleine, braune Farbstoffkörper eingebettet liegen. Sie werden fast alle von den feinen, im Wandbeleg eingebetteten Strömen fortwährend mitgeschleppt. Im Gegentheil zu den soeben genannten Beispielen ist die Geschwindigkeit der Bewegung bei **Acetabularia** eine ziemlich grosse. Am geringsten war sie im Stiel, wo ich sie auf etwa 50 μ pro 1' bestimmte, doch viel grösser, bis zu 240 μ, zeigte sie sich in den langgestreckten Haarzellen. Bei jeder Verzweigung des Haares war es ausserdem deutlich zu sehen, wie die Zweige durch eine kleine Oeffnung (an den unteren Zweigen etwa 3 μ im Durchmesser) in Communication mit der Zelle blieben, aus der sie hervorgegangen waren [1]), und dass Protoplasma- und Farbstoff-Körnchen sich mit grosser Geschwindigkeit durch diese Oeffnung von der einen Zelle in die andere drängten. Nur an dieser Stelle traten ein oder zwei Strömchen auf, welche den Zellsaft durchsetzten und von der Wandschicht der oberen Zelle sich direct nach der Oeffnung richteten.

Die Localisirung distincter Plasmaportionen bei **Caulerpa** tritt zweitens an den wachsenden Spitzen auf, indem die Schicht, welche an diesen Stellen die Zellwand bekleidet, von ganz anderer Beschaffenheit ist wie das übrige Plasma. Erstens ist jenes Plasma durch das Vorkommen einer sehr grossen Menge kleiner Körnchen gekennzeichnet, welche ihm sein trübweisses Aeussere verleihen, während ausserdem die Plasmaströmungen, welche man sonst an jedem Theil der Pflanze leicht beobachten kann, in der Nähe wachsender Spitzen allmählich schwächer werden und schliesslich aufhören.

---

ganz oder nur theilweise von jenen umgeben werden. Stellt man nachher das Mikroskop auf die Zellachse ein, dann zeigt sich, dass eine grosse Anzahl kleinerer Vacuolen durch die grosse gegen die Zellwand angedrückt werden, so dass jene ungefähr die Form einer Halbkugel annehmen. Die Chlorophyllkörner finden zwischen den kleinen Vacuolen und der Wand keinen Platz mehr, werden zur Seite gedrängt und lagern sich nun um die etwa kreisförmigen Stellen herum, wo die kleineren Vacuolen gegen die Zellwand abgeplattet sind.

1) Vergl. Gardiner, l. c. p. 80.

In auffallender Weise stimmt also jenes Plasma mit dem Inhalt der Meristemzellen höherer Pflanzen überein, da auch von diesen die trübe, milchige Beschaffenheit bekannt ist, während in ihnen auch niemals Strömung beobachtet wurde. Das ausschliessliche Vorkommen derartigen Plasma bei höher organisirten Pflanzen, sowie auch bei Caulerpa an jenen Stellen, wo die Bildung von neuen Zellstoffmembranen und Protoplasma aus den zugeleiteten Nährsubstanzen stattfindet, deutet auf den Umstand hin, dass es dort bei allen eine ähnliche Aufgabe zu erfüllen hat.

In Hinsicht auf letztere Eigenthümlichkeit steht Caulerpa unter den Coeloblasten aber nicht ganz allein, wenigstens habe ich den nämlichen Unterschied im Plasma, je nachdem es die wachsenden oder ausgewachsenen Partieen der Zellwand bekleidet, ebenso bei Bryopsis plumosa beobachtet. Auch bei dieser Pflanze findet man an den wachsenden Spitzen, am Stämmchen, sowie an den Seitenzweigen (und wohl auch an den Wurzelhaaren) eine trübweisse Plasmaschicht, während erst in einiger Entfernung die Chlorophyllkörner auftreten und dort in weniger feinkörnigem Protoplasma eingebettet sind.

Die Aehnlichkeit zwischen dem weissen Plasma bei Caulerpa und dem Inhalt der Meristemzellen würde noch grösser werden, wenn es gelänge zu zeigen, dass auch bei Caulerpa an jenen Stellen vorwiegend die Kerntheilung stattfand. Schmitz [1]), der das Vorkommen der Zellkerne bei unserer Pflanze nachwies, sagt nur, dass diese sehr zahlreich in der Wandschicht sowie auch in den Plasmasträngen vorkommen; das Protoplasma an den wachsenden Theilen scheint er nicht untersucht zu haben.

Man würde Obiges also zusammenfassen können, indem man sagte, dass Caulerpa eine Trennung zwischen drei unterschiedenen Theilen des Protoplasma zeigt, und dass sie jedem dieser eine bestimmte Stelle im Individuum zur Ausübung ihrer Function angewiesen hat. Man könnte daher fast versucht sein, bei Caulerpa von Assimilationsplasma, Leitungsplasma und Meristemplasma zu reden, um dadurch hervortreten zu lassen, dass hier eine vollkommen

1) Sitzungsberichte der niederrhein. Gesellschaft für Natur- und Heilkunde, Sitzung vom 4. August 1879.

ähnliche Trennung dieser Hauptfunctionen des Lebens stattgefunden hat wie auch bei den höheren Pflanzen, indem zur Ausübung einer jeden von jenen bestimmte Zellcomplexe fast ausschliesslich angewiesen sind: die Blätter (und mehr speciell das Palissadengewebe) zur Assimilation, die Gefässbündel und ihre Scheiden zur Fortleitung der Nährstoffe (Eiweiss, Wasser, Zucker, deren Transport auch hier hauptsächlich durch Protoplasmaströme vermittelt wird) und schliesslich das Meristem zur Bildung neuer Zellen mit jungen Kernen und neuem Protoplasma.

Trotz ihrer Einzelligkeit verhält sich Caulerpa also in vielen Hinsichten morphologisch einer höheren Pflanze ähnlich, während sie ausserdem mit dieser eine gewisse Uebereinstimmung in der Art und Weise der Ausübung ihrer Ernährungsfunctionen zeigt.

In der Einleitung (p. 168) wurden die schmalen Blätter erwähnt, welche im Frühjahr als Neubildungen auf abgerissenen, vorjährigen Blättern auftreten. Da ich überzeugt bin, dass die so gestalteten Spreiten nur in Folge abnormaler Ernährungsverhältnisse entstehen, habe ich sie in diesem Abschnitte nicht weiter berücksichtigt, und wenn ich die sehr schmale Form dieser, also diejenigen, von welchen Fig. 6 auf Taf. VI ein Bild giebt, hier näher zu besprechen wünsche, so geschieht es nur, weil sie sich in Hinsicht auf die Anordnung der Balken und der Plasmaströme von den normalen Blättern sehr abweichend verhalten. Die breiteren, deutlicher dichotom verzweigten Blättchen (vergl. Fig. 7, Taf. VI) zeigen sich dagegen im inneren Bau den normalen Spreiten vollkommen ähnlich.

Die Figuren 8 und 9 auf Taf. VI zeigen in den Spitzen von zwei solchen Blättern die Anordnung der Plasmaströme (bei 120maliger Vergrösserung) sowie auch die der Balken, weil jeder einzelne Strom einen dünnen, höchstens 1 μ dicken Balken umhüllte, wie durch nachheriges Tödten der Blätter festgestellt wurde. Beide Blättchen waren abgeflacht, ihre Dicke also geringer wie die Breite.

Die Anordnung der Ströme in Fig. 8 zeigt allerdings noch eine entfernte Aehnlichkeit mit jener, welche man im normalen Blatte bemerkt, da man in ihr noch zahlreiche Längsströme antrifft. Ein grosser Unterschied wird aber dadurch hervorgerufen, dass die Balken

nicht senkrecht zur Blattfläche (hier die Fläche des Papiers) stehen, sondern dass sie alle nahezu parallel mit dieser verlaufen. Zwischen diesen sind dann wieder die Längsströme ausgespannt, aber jeder dieser umschliesst hier, wie schon oben hervorgehoben wurde, einen dünnen Balken. In fast allen Strömen konnte Bewegung des Plasma wahrgenommen werden, doch war diese nicht so schnell wie in den normalen Blättern.

Eine noch weitere Abweichung vom normalen Typus zeigt unsere Fig. 9, da hier nur einzelne Balken unter einander durch Längsströme verbunden sind. Erst in einer Entfernung von 0.6 mm unter der Spitze, also ungefähr gerade an jener Stelle, wo unsere Figur aufhört, fing ein grösserer Längsstrom an, welcher sich dann weiter nach unten fortsetzte. Beim Breiterwerden der Blättchen, noch weiter nach der Basis hin, verändert sich der innere Bau derart, dass dieser allmählich dem der normalen Blätter gleich wird; diese Umänderung hat sich schon vollzogen, wenn ihre Breite bis zu etwa 1 mm gestiegen ist.

Die Ernährung der Spitze dieses Blattes konnte also hier nicht von centralen Strömen übernommen werden, so dass es schon von vorn herein wahrscheinlich war, dass man in jenem Blättchen einen deutlichen Strom im Wandbeleg antreffen musste. Wirklich gelang es mir auch bald, einen solchen aufzufinden. Die Bahn, in welcher die Bewegung stattfand, war 14 μ breit (das ganze Blatt hatte eine Breite von etwa 100 μ) und konnte über eine grosse Strecke verfolgt werden. Die Geschwindigkeit wurde auf 85 μ bestimmt, während die Körner auf der Oberfläche der Balken ungefähr 65 μ pro 1' zurücklegten und im centralen Strom, welcher weiter unten auftrat, die Geschwindigkeit bis auf 150 μ stieg. In diesem hatte sie also ungefähr den Mittelwerth der Zahlen erreicht, welche bei den centralen Strömen in normalen Blättern aufgefunden wurden (vergl. p. 186 u. 187). Auch in diesem Falle zeigt sich daher, dass allgemein bei den in die Länge gedehnten Zellen kräftige Plasmaströme vorkommen, welche der Zellachse parallel verlaufen, und diese Allgemeinheit ist wieder ein Beweis, dass die normale Ernährung jener Zellen ohne solche Strömungen nicht stattfinden kann.

II.

Verschiebung der Protoplasmaströme in den Blättern durch Wunden.

Im vorigen Abschnitt (p. 196) wurde der Versuch beschrieben, in welchem eine Prolification von dem ihr tragenden Blatt getrennt wurde, und dadurch eine Aenderung in der Intensität der Protoplasmaströme hervorgerufen ward.

Schon bevor ich diesen Versuch anstellte, hatte ich mich mit der Frage beschäftigt, ob es vielleicht möglich wäre die Ströme zu veranlassen, von dem Wege abzuweichen, welchen sie im Blatte angenommen haben. Wiederholte Beobachtungen an frischen Exemplaren hatten es mir wahrscheinlich gemacht, dass solches möglich sein müsste. An frischen Pflanzen kamen nämlich immer viele Blätter vor, welche an einer oder an mehreren Stellen verwundet waren, welche Verletzungen nur von geringer Bedeutung waren und wohl von den Bissen verschiedener Meeresthiere herrührten; durch die Bildung eines Celluloseverschlusses waren alle diese Wunden schon völlig geheilt. An ungefähr in der Mittellinie verletzten Blättern, wie z. B. im längeren Blatte von Fig. 13, Taf. VII, gerade neben der Anheftungsstelle der oberen Prolification, bemerkt man, dass das Strombündel sich in kurzer Entfernung unter der Wunde spaltet, dass beide Theile unmittelbar neben den Wundrändern herlaufen, um über jener bald wieder zu einem einzigen Bündel zu verschmelzen. Da man aus Analogie mit anderen unverletzten Blättern schliessen darf, dass die Streifen eine fast gerade Richtung hatten, bevor die Verwundung aufgetreten war, so geht aus der Spaltung des Bündels hervor, dass diese nachträglich eingetreten ist, so dass durch die Wunde wenigstens die mittleren Streifen von ihrer früheren Richtung abgewichen sind. Zahlreiche ähnliche Beobachtungen an anderen Blättern zeigten alle das Nämliche.

Diese Wahrnehmungen veranlassten mich zu versuchen, diese Richtungsänderungen selber durch Verletzungen hervorzurufen und die also veranlassten Veränderungen im Stromverlauf Schritt für Schritt zu verfolgen.

Die Versuche wurden stets in der Weise angestellt, dass in gesunden Blättern, welche eine oder mehrere kräftig wachsende Prolificationen trugen, mittelst eines scharfen Messers eine Querwunde gemacht wurde, welche beide Seiten des Blattes verletzte, und zwar so, dass stets das ganze Strombündel, welches sich zu der Prolification hinzog, von ihr unterbrochen wurde. Es wurde aber stets dafür gesorgt, dass den Strömen ein genügender Raum übrig blieb, um neben den Wundrändern her ihren Weg zur Prolification zu suchen.

Bevor wir aber die durch Wunden verursachten Aenderungen am Stromverlauf näher betrachten, müssen wir unsere Aufmerksamkeit zuerst den Erscheinungen widmen, welche durch Verletzungen der Blätter von Caulerpa überhaupt hervorgerufen werden.

Von verschiedenen Forschern wurde beobachtet und auch schon beschrieben, dass an jeder Stelle, wo jene Pflanze verwundet wird, ein weiss-grünlicher, schleimiger Pfropfen heraustritt, und dass dieser den provisorischen Wundverschluss herstellt. Wakker (l. c.) hat weiter gezeigt, dass unterhalb dieses Pfropfens schon nach einem Tage eine neue Cellulosewand gebildet ist, und dass so die Wunde also auf die Dauer geheilt wird. Durch die Verletzungen werden aber noch eine Reihe anderer eigenthümlicher Erscheinungen hervorgerufen, welche hier jetzt näher besprochen werden sollen.

Zuerst nämlich stellt es sich heraus, dass die Erfolge einer Längswunde etwas andere sind als die einer Querwunde, denn wenn die erstere so angebracht wird, dass sie genau zwischen zwei Hauptströmen hindurch geht, ohne dass diese also unterbrochen werden, so zeigt die herausquellende Schleimmasse öfters eine fast vollkommen weisse Farbe, während sie sonst durch die zahlreichen Chlorophyllkörner, welche mit herausgestossen werden, mehr oder weniger dunkelgrün gefärbt ist.

Wichtiger sind aber die Erfolge von Querwunden; von diesen werden wir zuerst solche betrachten, welche relativ gross sind, also eine sehr ansehnliche Hemmung in der Communication zwischen Blattbasis und Blattspitze hervorrufen.

Wenn man z. B. ein kräftig wachsendes Blatt einer normalen Pflanze etwa in der Mitte zwischen Spitze und Basis durch eine Querwunde verletzt, welche am einen Rande anfängt und etwa zwei

Drittel der Breite des Blattes erreicht, so beobachtet man in erster Linie wieder das besprochene Austreten des grünlich-weissen Plasma aus den beiden Wundrändern mit den Nebenerscheinungen, welche bald unten besprochen werden sollen. Ausserdem aber tritt schon einige Secunden nach der Verletzung neben der Wunde, also zwischen dieser und dem Blattrande, plötzlich ein fast gänzlich weisser Streifen auf, welcher 1—2 mm breit ist (in der Richtung der Mittellinie des Blattes gemessen). Zu gleicher Zeit wird über diesem (also nach der Seite der Blattspitze hin) ein etwas schmäleres dunkelgrünes Band sichtbar, welches nach unten scharf begrenzt erscheint, nach oben hin aber allmählich in die Farbe des Blattes übergeht. Ein Fall vom Auftreten eines solchen Bandes wurde schon oben p. 196 erwähnt (vergl. Fig. 14C, Taf. VIII). Bei genauer Beobachtung lässt sich leicht constatiren, dass das Auftreten des grünen Bandes eine Folge der Entstehung des weissen Streifens ist, indem offenbar sogleich nach der Verwundung plötzlich alle oder fast alle Chlorophyllkörner, welche sich neben dem Wundende auf den Strömen sowie im Wandbeleg befinden, hinaufgetrieben werden und sich in kurzer Distanz oberhalb der Wunde ansammeln. Sie bleiben dabei immer auf den Strömen, und daher treten diese auch öfters im grünen Streifen viel deutlicher auf, als wie es vorher an jener Stelle der Fall war (vergl. auch Fig. 15B).

Bei dieser plötzlichen Bewegung (der Vorgang ist in einzelnen Secunden vollendet) kann nun zweierlei auftreten: erstens nämlich können die Ströme zwischen dem Wundende und dem Blattrand intact bleiben, und dann werden also nur die Chlorophyllkörner fortgerückt. Drei Minuten nach der Verwundung lässt es sich dann bei mikroskopischer Beobachtung des weissen Streifens leicht constatiren, dass der Zellsaft noch immer nach der Seite der Blattspitze hinströmt, und dass einzelne Chlorophyllkörner auf den Strömen mitgerissen werden. Ausserdem aber beobachtet man, dass die ursprünglichen Protoplasmaströme noch stets vorhanden sind, und dass sich in diesen noch Bewegung in den beiden entgegengesetzten Richtungen beobachten lässt, gerade wie vor der Verwundung, nur hatte jetzt die Geschwindigkeit bedeutend abgenommen.

In dem beschriebenen Falle bleibt, wenn die Wunde nicht zu gross war, der Zustand während einiger Zeit unverändert, doch

dann, bisweilen schon nach etwa 10 Minuten, fängt die Farbendifferenz zwischen dem weissen und dem dunkelgrünen Streifen allmählich an sich wieder auszugleichen, indem die Chlorophyllkörner aus letzterem wieder auf die Ströme neben dem Wundende und dann auch in den Wandbeleg übertreten, so dass beide nachher wieder ihre ursprüngliche hellgrüne Farbe annehmen. Dann verkehrt das Blatt wieder in dem nämlichen Falle, als wenn, wie im unten zu besprechenden Beispiel, die erwähnten weissen und grünen Streifen niemals aufgetreten wären.

Es kann aber zweitens auch geschehen, dass die plötzliche Bewegung, welche im Zellsaft hervorgerufen wird, so stark ist, dass nicht nur die Chlorophyllkörner mitgeführt, sondern dass ausserdem die Plasmafäden, auf denen sie sich vorfinden, zerrissen werden. Ist dieses der Fall, so erkennt man es bald nachher an dem Umstande, dass in der Mitte des beschriebenen weissen Streifens ein anderer von hellgelber Farbe auftritt, vollkommen ähnlich, wie man es an äusseren Wunden bald nach der Verletzung beobachtet; ein solcher Streifen ist immer ein untrügliches Zeichen, dass eine vollkommene Aufhebung jeder Communication zwischen den beiden Blattabschnitten stattgefunden hat. Diese zerrissenen Plasmaströme werden niemals wieder hergestellt, und die Blattspitze kann zwar noch weiter leben, doch ohne in anderer Weise als morphologisch mit der Blattbasis und mit der Mutterpflanze verbunden zu sein. Dieser Fall tritt aber nur bei relativ grossen Wunden auf und unter Anderem in einem der unten zu besprechenden Versuchen (vergl. Fig. 15 B, Taf. VIII).

Was die Ursache anbetrifft, welche das Auftreten der oben beschriebenen Erscheinungen hervorruft, gelang es mir zu zeigen, dass diese eine ausschliesslich mechanische ist. Sie wird nämlich durch die plötzliche Bewegung hervorgerufen, in welche der Zellsaft versetzt wird, wenn durch die Verwundung der Turgor der Pflanze mit einem Male aufgehoben wird und ihre, im Durchschnitt von 3 bis 10 Procent ihrer ursprünglichen Länge gedehnten Organe[1]), sich

1) Einzelne schnell wachsende Theile haben selbst durch die Turgorausdehnung eine Verlängerung erfahren, welche nicht weniger als ein Drittel ihrer Länge beträgt.

plötzlich verkürzen. Durch diese Volumverkleinerung wird der Zellsaft aus allen Theilen der Pflanze nach der Wunde hin getrieben, und an der engsten Stelle, also neben dem Wundende, wird die Bewegung zu einer so energischen, dass die Chlorophyllkörner, welche immer mehr oder weniger auf den Plasmaströmen hervortreten, sowie auch jene, welche dem Wandbeleg eingelagert sind, mitgeschleppt werden und sich an jener Stelle ansammeln, an der die Geschwindigkeit eine geringere wird, also oberhalb der Wunde. Daher auch das plötzliche Auftreten des dunklen Streifens und das nachträgliche Wiederherstellen der gleichmässigen Verbreitung der Körner im Wandbeleg und auf den Plasmasträngen, nachdem die Massenbewegung des Zellsaftes aufgehört hat. Ist die Wunde gross, so ist die übrigbleibende Stelle des Blattes um so schmäler, und in diesem Falle können durch die gesteigerte Intensität der Strömung die Chlorophyllkörner so schnell mitgeführt werden, dass durch ihre Bewegung auch die Plasmafäden, auf denen sie sich befinden, zerreissen, so dass dadurch die andauernde Unterbrechung der Communication zwischen den beiden Blattpartieen hervorgerufen wird. Eine Wiederherstellung von neuen centralen Strömen, wenn die vorigen zerrissen sind, wie man es nicht selten in anderen Zellen mit circulirendem Plasma sehen kann, kommt nämlich in solchen Fällen niemals vor und wird ausserdem durch den vollkommenen Verschluss der Wunde durch die gelbe Materie gänzlich verhindert.

Wenn aber die Aufhebung der Turgorausdehnung die Ursache vom Auftreten des weissen und des dunklen Streifens neben dem Wundende ist, so braucht letzterer nicht immer an der apicalen Seite neben der Wunde aufzutreten, sondern er muss sich immer nur an jener Seite zeigen, an welcher die geringste Volumverringerung durch den Turgorverlust stattfindet. Meistens wird dieses allerdings, zumal beim Gebrauche grösserer Pflanzen, an der erwähnten Stelle stattfinden, aber in besonderen Fällen wird gerade das entgegengesetzte geschehen müssen. Die Versuche haben diese Folgerung vollkommen bestätigt.

Zu einem jener Versuche wählte ich eine Pflanze, die nur aus einem längeren Blatte bestand, welches etwa in der Mittte eine fast gleich lange Prolification trug; ein Rhizom fehlte also. Wenn ich nun das Blatt zwischen dem Stiel und der Anheftungsstelle der

Prolification verwunden würde, so wäre ohne Zweifel jetzt der Theil *oberhalb* der Wunde derjenige, welcher am meisten durch die Turgorkraft ausgedehnt war, und so sollte daher, wenn die obige Erklärung die richtige wäre, der dunkle Streifen jetzt *basalwärts* neben dem der Wunde auftreten. Das Resultat entsprach völlig der Erwartung, denn neben der etwa zwei Drittel der Blattbreite messenden Wunde trat wenige Secunden nach der Verletzung das weisse Band und *unterhalb* dieses der grüne Streifen auf; jetzt waren die Chlorophyllkörner also nach der Blatt*basis* hin getrieben worden.

Ein anderer Versuch beweist ausserdem die Richtigkeit meiner oben erwähnten Meinung. Zu diesem benutzte ich ein Blatt, welches zu einer grösseren Pflanze gehörte und nahe an der Spitze drei kräftige Prolificationen trug; das Nämliche hatte ich zwei Tage zuvor zu einem der zuerst beschriebenen Versuche (p. 208) angewendet; die erstere Wunde war völlig geheilt, und auch der weisse sowie der grüne Streifen neben dieser war längst völlig verschwunden. Etwa 7 mm unterhalb der ersteren Wunde und an der nämlichen Seite von der Mittellinie des Blattes brachte ich nun eine zweite Verletzung an, ebenfalls etwa zwei Drittel der Breite jenes einnehmend. Auch jetzt trat ein weisser Streifen neben und ein dunkelgrüner oberhalb der neuen Wunde auf, der elastischen Zusammenziehung des Rhizoms und der übrigen Blätter der Pflanze entsprechend, doch ausserdem zeigte sich jetzt neben der oberen, geheilten Wunde ein ähnlicher weisser und ein grüner Streifen; der letztere war aber jetzt *unter* dem weissen, also der Blatt*basis* zugewandt. Die Erklärung dieser letzteren Thatsache ist sehr einfach, wenn man in Betracht zieht, dass der von oben herkommende Strom des Zellsaftes zur Seite der oberen Wunde eine gleiche Hemmung empfand, als wenn diese frisch angebracht war; dadurch entstand also auch dort eine beschleunigte Strömung sowie das mechanische Mitreissen der Chlorophyllkörner auf den Plasmaströmen nach unten hin, und der grüne Streifen musste also unter dem weissen auftreten. Kurze Zeit nachher verschwanden beide dunklen Streifen wieder allmählich, indem die Körner wieder auf die Ströme im weissen Theile zurückkehrten[1]).

1) Vergleiche mit den hier beschriebenen Resultaten ausserdem den Erfolg der Verwundung des Blattes (p. 229, Fig. 15 C, Taf. VIII), welcher durch zwei rechtwinklig gebogene Wunden hervorgerufen wurde. (Siehe auch den Anhang.)

Das Mitschleppen der Chlorophyllkörner durch den strömenden Zellsaft lässt sich auch bald nach der Verwundung mikroskopisch beobachten. Stets aber sieht man, dass bei kleinen Wunden die Körner auf den Strömen bleiben und also niemals frei in den Zellsaft übertreten.

Wenn man ein blättertragendes Rhizom durchschneidet, kann man auch bisweilen beobachten, dass in einiger Entfernung von der Wunde ein weisses und ein dunkelgrünes Band auftreten, ohne dass, wie beim Blatte im zuletzt beschriebenen Versuche, zugleich eine künstliche Hemmung erzeugt war. In zwei Fällen war die Distanz der Streifen von der Wunde 6 resp. 42 mm, und stets befand sich der grüne Streifen an der zur Wunde hingerichteten Seite des weissen. Dass auch hier die durch die Verletzung veranlasste Strömung des Zellsaftes jene Erscheinung hervorruft, braucht jetzt wohl nicht näher bewiesen zu werden.

Wenn man ein Blatt durch eine noch weniger erhebliche Wunde verletzt, beobachtet man auch hier zuerst die Massenbewegung des Zellsaftes nach der Wunde hin. Diese Bewegung hat in diesem Falle aber nicht die nämlichen Folgen, weil jetzt die Hemmung, welche der Zellsaftstrom neben der Wundecke erleidet, eine geringere ist, da bei der kleineren Wunde ein breiterer Weg neben ihr übrig bleibt, so dass jetzt nicht die Chlorophyllkörner auf den Plasmaströmen mitgeschleppt werden. Das Auftreten des weissen und des grünen Streifens unterbleibt also in diesem Falle völlig, und daher wird durch eine solche kleinere Wunde auch niemals die organische Verbindung zwischen den Blattabschnitten oberhalb und unterhalb der Wunde unterbrochen.

Bisher haben wir nur die Vorgänge beachtet, welche neben der Wunde vor sich gingen; der Zellsaftstrom ist an ersterer Stelle aber zur Wunde selbst hin gerichtet, und dort strömt auch sogleich ein Theil jenes aus der Pflanze heraus; zuerst ist die Geschwindigkeit natürlich gross, bald lässt sie aber nach, da die mit dem Zellsaft heraustretenden schleimigen Massen, welche bei Berührung mit Meereswasser aufzuquellen scheinen, alsbald die Wunde verschliessen.

Im ersten Moment nach der Verwundung zeigt die hinaustretende schleimige Masse eine grünliche Färbung, welche durch eine Anhäufung von Chlorophyllkörnern verursacht wird, da diese,

in ähnlicher Weise, wie oben beschrieben wurde, durch den zuerst starken Zellsaftstrom mitgeschleppt werden und schliesslich ausserhalb der Wunde zusammen mit dem weissen Schleim heraustreten. Wie im beschriebenen Falle hat auch hier das Mitschleppen der Körner zur Folge, dass eine weisse Stelle an dem Wundrande auftritt, und zwar, weil der Plasmaausfluss an beiden Wundrändern zugleich vor sich geht, sieht man sofort nach der Verletzung an beiden Seiten dieser einen solchen weissen Streifen auftreten, welcher aber meistens nur 0.5 mm breit ist. Dann quillt zwar noch mehr Schleim hervor, doch dieser ist weiss und enthält also keine Chlorophyllkörner, weil die Intensität des Stromes verringert ist und dieser keine Körner mehr von den Plasmafäden losreisst; dementsprechend nimmt die Breite jenes weissen Streifens nachträglich nicht mehr zu.

Damit sind also die mechanischen Folgen der Verwundung beendigt, doch dann erst fangen die physiologischen an, welche sich ungefähr fünf Minuten später zu zeigen beginnen.

Um diese Zeit beobachtet man nämlich, dass die dunklen Streifen, also die dickeren, centralen Protoplasmaströme, welche auf dem oberen Wundrande endigen, gleich oberhalb vom erwähnten weissen Band, welches die Wunde umsäumt, allmählich deutlicher werden, weil sie Anschwellungen von ein wenig unregelmässiger Form zu zeigen beginnen. Diese nehmen während der folgenden 15 Minuten langsam an Mächtigkeit zu, so dass sich nach dieser Zeit ein etwa 2 mm breiter Streifen von dunkelgrüner Farbe beobachten lässt, welcher von jenen Anschwellungen hervorgerufen wird; jeder centrale Protoplasmastrom bleibt dabei aber deutlich von den benachbarten getrennt und die Anschwellungen verschmelzen also nicht. In weiteren 25 Minuten ändert sich dann der Sachverhalt nur sehr wenig, doch nachher, also etwa drei Viertelstunden nach der Verletzung, ziehen sich alle diese Anschwellungen sehr langsam wieder von der Wunde zurück; sie scheinen dabei über die Ströme hinaufzugleiten, da unter und über jenen Anschwellungen die Ströme ihre normale Dicke und Farbe behalten. Während des Hinaufschiebens des dunkelgrünen Streifens, welcher in 15 Minuten etwa 2 mm zurücklegt, wird er immer breiter, weil die Anschwellungen sich über einen stets grösseren Stromabschnitt

verbreiten, bis sie schliesslich nach weiteren drei Viertelstunden in einer Entfernung von etwa 6 mm von der Wunde unkenntlich werden. Dann sieht das Blatt wieder vollkommen aus als während der ersten Minuten nach der Verwundung.

Dieser Zustand ist aber ebenfalls nur ein vorübergehender, weil fast ähnliche Veränderungen wie die soeben beschriebenen, gleichfalls oberhalb der Wunde, nach etwa drei Stunden wieder auftreten, indem die centralen Plasmaströme nochmals Anschwellungen zu zeigen beginnen. Jetzt sind diese aber von einer mehr regelmässigen, fast kugeligen Form und kleiner; sie erreichen einen Durchmesser von etwa $^{1}/_{3}$ bis $^{1}/_{4}$ mm. Diese Gebilde sind aber nun nicht vorübergehender Natur, da aus diesen sich allmählich die neuen Ströme ausbilden, welche unten (p. 167 ff.) bei der Erwähnung der speciellen Versuche näher besprochen werden sollen.

Auch am unteren Wundrande treten Veränderungen auf, welche ungefähr zu gleicher Zeit sichtbar werden mit den zuerst besprochenen Anschwellungen, also auch etwa fünf Minuten nach der Verletzung. Jene Veränderungen unter der Wunde sind aber gerade denen entgegengesetzt, welche man über dieser wahrnimmt, weil sich die Chlorophyllkörner dort nicht anhäufen, sondern sich von der Wunde zurückziehen. Allmählich sieht man nämlich den unteren Rand des zuvor scharf begrenzten weissen Streifens (unterhalb der Wunde) mehr und mehr verwischt werden und die entsprechende Blattpartie in immer weiterer Entfernung von dieser eine stets blassere Farbe annehmen. Hier tritt aber nicht nach einiger Zeit das Rückgängigwerden der Veränderung ein, wie wir es bei den ersten Anschwellungen beobachteten, sondern jene dauert fort und bildet schliesslich die blasse Partie unterhalb der Wunde, welche in den weiteren Versuchen noch näher erwähnt werden wird.

Ueber die Ursache und Bedeutung, welche man den beschriebenen vorübergehenden Anschwellungen oberhalb der Wunde beizulegen hat, kann ich leider nur aussagen, dass sie ganz gewiss nicht durch blosse mechanische Einflüsse hervorgerufen werden. Dafür spricht erstens, dass die Veränderungen an den beiden Wundrändern einander vollkommen entgegengesetzt sind, und zweitens, dass man diese nämlichen Veränderungen auch beobachtet nach Verwundung eines Blattes, welches kurze Zeit zuvor durch eine vorige Wunde seinen

Turgor fast vollkommen verloren hatte. Der Zellsaftstrom und das Austreten von Schleim aus der zweiten Wunde waren nur äusserst schwach, und daher trat um die Wunde herum auch der weisse Streifen nicht auf, welchen man sonst immer an jener Stelle beobachtet (vergl. p. 213), und dennoch sammelten sich Chlorophyllkörner über der Wunde, und zogen sie sich unter dieser von ihr zurück. Diese Veränderungen sind also auch von dem Auftreten des weissen Streifens gänzlich unabhängig.

Vollkommen die nämlichen Erscheinungen, welche oben als Folgen von Wunden beschrieben wurden, lassen sich auch in anderer Weise erzielen und zwar ohne die Zellwand zu verletzen und ohne dass dabei Protoplasma aus der Pflanze hervortritt. Durch verschiedene Versuche habe ich nämlich constatiren können, dass nicht die äussere Wunde die Veränderungen veranlasst, welche oben erwähnt wurden, sowie jene, welche unten noch näher besprochen werden sollen, sondern dass die Ursache aller derer ausschliesslich auf der Unterbrechung der centralen Plasmastränge beruht. Da sich dieses nun auch in anderer Weise, ohne äussere Wunde, hervorrufen lässt, wie z. B. dadurch, dass man das Blatt in eine scharfe Falte zusammenlegt, oder dass man es stellenweise kräftig drückt entweder mit einem nicht scharfen Gegenstande oder auch blos zwischen den Fingerspitzen, so kann man die beschriebenen Veränderungen auch ohne Zellwandverletzung verursachen.

Hofmeister[1]) hat schon erwähnt, dass es genügt, eine Zelle von Nitella mit der Spitze einer stumpfen Nadel leicht zu drücken, so leicht, dass die Zellhaut keine Knickung oder keinen bleibenden Eindruck erhält, um den sofortigen und raschen Rückzug des protoplasmatischen Wandbelegs von der Zellwand zu veranlassen. Dabei geht dann natürlich der Turgor der Zelle zum Theile verloren.

Das Nämliche zeigte mir Caulerpa, denn jedes Blatt verlor seine ursprüngliche Straffheit, nachdem es in einer der oben angegebenen Weisen behandelt wurde. Stets war aber diese Verminderung geringer, als wie sie sich bei einer äusseren Wunde zeigt. Aus dieser theilweisen Aufhebung des Turgors geht also hervor, dass der Wandbeleg durch den Druck verletzt wurde, indem ein

1) Pflanzenzelle, p. 10.

kleiner Theil der Zellflüssigkeit herausgepresst wird. Diese Wunde schien sich aber stets sofort wieder zu schliessen, denn nachher nahm das Blatt allmählich wieder seine frühere Straffheit an.

Sogleich nach der inneren Verletzung tritt genau an der berührten Stelle ein schmales weisses Band auf, in der Weise, wie man dieses auch bei der äusseren Verwundung sieht, nur war es im letzteren Falle immer breiter. Die Ursache des Auftretens der weissen Farbe ist die, dass die Chlorophyllkörner im Wandbeleg und auf den centralen Strömen nach beiden Seiten hin fortgeschoben sind. Wenn jene Ströme aber zu gleicher Zeit durch den Druck zerrissen werden, so tritt in der Mitte des weissen Bandes sehr bald ein gelber Streifen auf, welcher schon makroskopisch die vollkommene Unterbrechung der Communication der über und unter ihm liegenden Blattpartien verkündet. Es findet dann hier also ähnliches statt, wie wenn die Stränge durch eine sehr starke Strömung im Zellsafte zerrissen werden (vergl. p. 209).

In der nämlichen Weise, wie es früher beschrieben wurde, treten bald nachher oberhalb des weissen Streifens an den Enden der Ströme die Ansammlungen von Chlorophyllkörnern auf, während diese sich von dessen unteren Seite allmählich in der Richtung zur Blattbasis zurückziehen. Die Ansammlungen verschwinden dann nachträglich wieder, um aber nachher nochmals aufzutreten, zur Bildung der neuen Strombahnen (vergl. p. 214, sowie weiter unten). Auch diese letzteren zeigen nachher gar keinen Unterschied in Richtung u. s. w., ob nur das Protoplasma des Blattes verwundet war, oder ob ausserdem auch die Zellwand verletzt wurde.

War die innere Verletzung derart, dass der erwähnte gelbe Streifen über die ganze Breite des Blattes auftritt, so wirkt jener in vollkommen ähnlicher Weise, wie wenn das Blatt an jener Stelle durchgeschnitten wurde. Das Zusammenhängen der Zellwand von den beiden Theilen ist also ohne jeden Einfluss auf die nachträglichen Veränderungen im Protoplasma.

Wenn man das Blatt kräftig zwischen den Fingerspitzen presst, so nimmt die gepresste Stelle sogleich eine fleckig-grüne Farbe an; um diese herum entsteht dann das oben erwähnte weisse Band, und zwischen diesen beiden tritt der jetzt kreisförmige gelbe Streifen auf. Dieser letztere schliesst also eine Plasmaportion ein, welche

vollständig vom übrigen Plasma getrennt und also für die Pflanze von keinem weiteren Nutzen ist. Dieses eingeschlossene Plasma behält aber sehr lange seine grüne Farbe bei, so dass es den Anschein hat, als wenn es lebendig bliebe; ich zweifle aber sehr, ob dieses der Fall ist[1]).

Wenn man die Caulerpa-Blätter aber weniger scharf faltet und weniger stark drückt, so beobachtet man auch zwar sogleich das Auftreten des weissen Bandes, und beim Pressen zwischen den Fingerspitzen ausserdem jenes von der fleckig-grünen Stelle, doch diese werden nur dadurch hervorgerufen, dass die Chlorophyllkörner eine Verschiebung erlitten haben; die centralen Stränge sind dann aber völlig intact geblieben (obwohl aus der nämlichen Ursache wie oben auch jetzt die Turgescenz ein wenig verändert ist) und dementsprechend bleibt auch der gelbe Streifen gänzlich aus.

Dennoch beobachtet man wieder die Anschwellungen der Ströme oberhalb des weissen Bandes, sowie das sich zurückziehen der Chlorophyllkörner unterhalb dieses; diese Veränderungen sind aber nur von vorübergehender Natur, weil sie alle nach einigen wenigen Stunden rückgängig geworden sind und das Blatt wieder vollkommen wie normal ausschaut.

Die Chlorophyllkörner haben dann nämlich wieder ihre frühere Lage eingenommen, die Anschwellungen sich über die Ströme verbreitet und sind dadurch unscheinbarer geworden; die Chlorophyllkörner kehren wieder auf die intacten Ströme im weissen Bande, sowie im verblassten Theil des Blattes zurück, während sie sich an den fleckig-grünen Stellen wieder ordnen in der Weise, wie sie zuvor vertheilt waren. Währenddem ist dann die Turgescenz wieder auf die normale Höhe gestiegen.

Aus diesen Beobachtungen geht also hervor, dass jede Veränderung, welche im Caulerpa-Blatte stattfindet, schliesslich wieder rückgängig wird, wenn nur an allen Stellen die centralen Ströme intact erhalten werden; zerrissene Ströme wirken hingegen in vollkommen ähnlicher Weise, wie wenn die Pflanze durch äussere Wunden verletzt wurde.

---

1) Vergleiche im VI. Abschnitt die Besprechungen der eigenthümlichen Anschwellungen, welche man vereinzelte Male an Caulerpa-Blättern beobachtet.

Ich werde jetzt einige Versuche mittheilen, in welchen die Blätter in verschiedener Weise mittelst eines scharfen Messers verwundet wurden und durch welche eine Veränderung in der Lage und Richtung der Strombahnen hervorgerufen wurde.

Wird ein Blatt durch eine Längswunde verletzt (vergl. p. 207), so ist die Veränderung, welche diese im Stromverlauf hervorruft, eine sehr geringe, und hat höchstens zur Folge, dass ein einzelner Strom über eine kurze Strecke unterbrochen wird. Die Enden dieses treten dann oberhalb und unterhalb der Wunde mit den benachbarten Strömen seitwärts in Verbindung und diese letzteren heben sich bald durch den erhöhten Stofftransport ein wenig schärfer hervor. Diese Veränderungen sind schon nach etwa vier Stunden vollkommen beendigt.

Viel complicirter sind hingegen die Erscheinungen, welche von einer schief oder quer gestellten Wunde herrühren, wie aus den hier zu beschreibenden Versuchen hervorgehen wird.

Zum ersteren dieser wurde an einer kräftigen Pflanze ein Blatt gewählt, welches nahe unter seiner Spitze und neben der Mittellinie eine noch wachsende Prolification trug, zu deren Stiel sich ein Bündel hinzog, welches etwa aus sechs stärkeren und mehreren schwächeren Linien zusammengesetzt war. Etwa 1.5 cm unter jener Stelle befanden sich zwei kleine, aber schon völlig geheilte Wunden; die Streifen bogen sich um diese herum und setzten zwischen ihnen hindurch ihren Weg fort. Vor der Verwundung wurde nun der obere Theil von jenem Blatte gezeichnet (vergl. Fig. 10A, Taf. VII); in dieser Figur ist ausserdem angegeben, an welcher Stelle unmittelbar nachher die Wunde angebracht wurde. Diese befand sich 8 mm unter der Anheftungsstelle der Prolification und reichte von der einen Seite bis ein wenig über die Mitte des Blattes hinaus. Aus der Figur ersieht man, wie jene Verletzung alle die Ströme, welche direct zur Prolification gingen, völlig unterbrach, und zwar sowohl die stärkeren wie die schwächeren. Während der Verwundung sowie auch stets nachher blieb die Pflanze in strömendem Meereswasser. Von Zeit zu Zeit wurde nun die Pflanze näher beobachtet und gezeichnet, wenn sich deutliche Abänderungen zeigten. In den Figuren 10B—F, Taf. VII sind alle diese Zeichnungen reproducirt.

Sogleich nach der Verwundung trat der Schleimpfropfen hervor,

welcher von den oben beschriebenen Erscheinungen am Wundrande begleitet war. Zwei Stunden später (vergl. Fig. 10B) waren die grünen Streifen über der Verletzung noch ebenso deutlich und endigten erst etwa 0.5 mm vor dieser mit einer noch unansehnlichen Anschwellung. Nach der Seite der Mittellinie des Blattes hin gingen diese in einen continuirlichen, querverlaufenden Streifen über, welcher sich bis etwa 0.5 mm vorbei dem linken Wundende ausdehnte. Neben den sechs vorigen Streifen traten beiderseits von den zuvor dünneren Strömen jetzt einzelne schärfer hervor. Sie fingen gleich über der Wunde an, doch reichten sie nicht bis zur Ansatzstelle der Prolification, weil sie nach oben zu dünner wurden und schliesslich nicht mehr zu verfolgen waren. Die zur linken Seite des Bündels (also nach der Mitte des Blattes hin) liegenden waren deutlich stärker wie jene an der anderen Seite. Unter der Wunde waren alle Streifen schon in einer Entfernung von 4 mm unsichtbar geworden, doch oberhalb dieser Stelle traten die sechs breiteren wieder hervor, waren zuerst dünn, wurden dann stärker, um aber etwa 1.5 mm unter der Wunde plötzlich nochmals, jetzt für immer, aufzuhören (diese letztere Erscheinung beobachtet man bei allen derartigen Verletzungen sehr oft). Neben dem Wundende sah man die dünneren Ströme unverändert herlaufen.

Am nächsten Tage konnte schon eine erhebliche Veränderung constatirt werden (vergl. Fig. 10C). Die Streifen, welche zuvor über der Wunde sichtbar waren und bis zu dieser hinreichten, traten jetzt nur noch über etwa ein Viertel ihrer früheren Länge deutlich hervor, um dann schwächer werdend bald zu verschwinden in ein sehr blassgrünes, fast weisses Feld, welches von jenen Streifen aus sich nach der Wunde verbreiterte (seine Grenzen sind in der Figur durch die beiden punktirten Linien angegeben). Unterhalb der Wunde waren alle Streifen bis in einer Entfernung von 1 cm sehr undeutlich geworden, und die zuvor scharfen Linien, welche um die beiden älteren Wunden herumliefen, waren nicht mehr sichtbar. Links neben dem Wundende waren hingegen drei neue, sehr scharf abgesetzte Ströme aufgetreten, welche durch zwei kurze, schief gestellte Strömchen unter einander in Verbindung standen. Obwohl jene grösseren Ströme an den kleineren, welche von der Prolification

herunterliefen, vorbeigingen, war von einer Communication zwischen diesen beiden Systemen nichts zu bemerken.

Am zweiten Tage (vergl. Fig. 10D) zeigte sich, dass jene beiden Strombündel gegenseitig versuchten, mit einander in directe Verbindung zu treten. Der von unten kommende Strom, welcher am vorhergehenden Tage gerade bis zum Ende der Wunde reichte, hatte sich jetzt um diesen herum gebogen und während er sich schief nach oben richtete, gab er fünf, alle der Blattmittellinie parallele Zweige ab, von denen einige unter sich noch durch kleinere, gleichfalls schief aufwärts gehende Strömchen verbunden waren; die beiden anderen dunklen Ströme vom vorhergehenden Tage waren jetzt aber wieder sehr viel schwächer geworden. Vom Bündel, welches von der Prolification herunterlief, zeigten die drei Ströme zur linken Seite sich deutlich stärker wie die übrigen, während diese dagegen über eine grössere Länge als zuvor sichtbar waren.

Am folgenden Tage, also drei Tage nach der Verwundung, waren zum ersten Male Verbindungen zwischen den beiden Strombündeln aufgetreten, z. w. zwischen den drei dunkleren zur linken Seite, welche von der Prolification kamen und dem rechten des von unten herauflaufenden Bündels.

Zwölf Tage nachher wurde das Blatt nochmals gezeichnet (vergl. Fig. 10E). Jetzt stellten zahlreiche kleinere Strömchen die Prolification mit den Strömen vom Blatte in Verbindung. Am deutlichsten trat diese noch stets an der linken Seite des von oben kommenden Bündels hervor, doch auch die noch immer schwächeren Ströme der rechten Seite, welche bis zur Wunde zu verfolgen waren, standen in Communication mit dem dunklen Streifen, welcher über jene herlief. Ausserdem aber waren die beiden Ströme links vom Wundende, welche schon vorher allmählich schwächer wurden, jetzt völlig verschwunden; anstatt deren waren aber zwei andere zur rechten Seite aufgetreten. Der eine reichte fast, aber nicht ganz, bis zur Wunde, während der andere schon etwa 1 cm vor dieser aufhörte.

Während der beschriebenen Veränderungen im Blatte hatten die Ströme in der Prolification nicht die geringste Aenderung erlitten.

Noch etwa vierzehn Tage nachher verblieb die Pflanze im Aquarium, und während dieser Zeit traten noch einige weitere

Veränderungen ein (vergl. Fig. 10F), obwohl diese nicht sehr erheblich waren. Der Hauptsache nach beschränkten sich diese darauf, dass die Verbindungsströmchen, welche zuvor aus längs- und quergestellten Streifen zusammengesetzt waren, jetzt einen gebogenen Verlauf zeigten, obwohl ihre ursprüngliche Entstehung aus senkrecht zu einander stehenden Theilen noch stets leicht zu erkennen war. Ausserdem war einer der Ströme im rechten Blatttheile unter der Wunde deutlich stärker geworden, und beim Vergleich mit der ursprünglichen Zeichnung (Fig. 10A) erkennt man, dass dieser grösstentheils einer der früher dort vorkommenden Ströme ist. Nahe bei der Wunde angelangt biegt er sich mit kurzem Bogen nach links, um sich um das Wundende herumgehend mit dem Strome zu vereinigen, welcher über der Wunde in querer Richtung verläuft.

Ich möchte hier besonders hervorheben, dass die ursprünglich von der Prolification herablaufenden Ströme alle noch vorhanden sind und man sie, obwohl einige schwächer sind wie vorher, dennoch bis ganz nahe an der Wunde deutlich verfolgen kann. Unter dieser hingegen war, während die beschriebenen Veränderungen vor sich gingen, keiner der früheren Ströme sichtbar; schliesslich trat nur ein einzelner jener auf, und zwar der, welcher bis auf einen dem Wundende am nächsten lag; die von oben kommenden Ströme bleiben also noch in grösserer Entfernung von dem Wundende sichtbar, wie die von unten heraufsteigenden, so dass die Veränderungen, welche die Verletzung in den Strömen hervorruft, in dem Blattabschnitte über der Wunde weniger erheblich sind, wie in jenem unter ihr.

Ein zweiter Versuch wurde in ähnlicher Weise mit einer anderen Pflanze wiederholt; Fig. 14A, Taf. VIII zeigt den Haupttheil dieser in natürlicher Grösse. Auf allen Blättern sind die Protoplasmaströme, wie sie sich dem Auge als dunkelgrüne Streifen zeigen, in Richtung sowie in Anzahl und in relativer Intensität genau wiedergegeben. An fünf der Blätter wurde eine gleich grosse Zahl von Strombündeln durch sechs Querwunden völlig unterbrochen; diese reichten aber an keiner Seite bis zum Blattrande. In der Figur 14A sind durch die mit I—VI bezeichneten Querlinien die Stellen angegeben, an welchen die sechs Wunden alle zu gleicher Zeit gemacht wurden. Drei Strombündel wurden zur Controlle intact gelassen.

Etwa eine Stunde, nachdem die Verletzung stattgefunden hatte, zeigte sich überall am oberen Wundrande eine Anhäufung von Chlorophyllkörnern, welche sich durch das Dunkler- und Breiterwerden der Streifen an jenen Stellen zu erkennen gab. Am unteren Rande waren jene Streifen hingegen verschwunden und war ein blassgrüner Flecken aufgetreten, ebenso breit wie die Wunde; dort hatten die Chlorophyllkörner sich also von ihr zurückgezogen. Nur bei Wunde II waren jene Veränderungen nicht so deutlich erkennbar, doch dieses hatte seinen Grund in dem Umstande, dass ein Theil von jener schon von einer vorhergehenden Verletzung herrührte.

Nach weiteren $1^1/_2$ Stunden waren die Anhäufungen an den oberen Rändern vermindert, und jetzt fingen auch dort die Streifen an undeutlicher zu werden. Jene, welche sich, von oben herkommend, um die Wundenden herum nach unten bogen, wurden hingegen schon ein wenig deutlicher.

Am folgenden Tage, 21 Stunden nach der Verletzung, hatte die Vertheilung sowie die Schärfe der Ströme merkliche Veränderungen erlitten. An jedem Blatte zeigte sich ein dreieckiger Flecken, welcher den Blattstiel zur Spitze und die ganze Wunde zur Basis hatte, und welcher blassgrün war, weil alle Streifen in diesem Blattabschnitte sehr merkbar an Breite abgenommen hatten. Jene, welche das genannte Dreieck begrenzten, waren hingegen breiter und dunkler geworden als vorhin und traten dadurch viel mehr hervor; ihre Anzahl war aber nur noch gering; allein die Blattstrecke zwischen den Wunden II und III zeigte noch fast keine Aenderung.

Am zweiten Tage traten jene Veränderungen noch deutlicher hervor, da die um die Wunden herumlaufenden Streifen schon bei allen sehr scharf accentuirt waren.

Als sich nun am folgenden Tage zeigte, dass die Veränderungen der Hauptsache nach beendet waren, wurde die Pflanze nochmals gezeichnet, mit genauer Angabe in Richtung, Anzahl und Stärke der jetzigen Protoplasmaströme (vergl. Fig. 14B, Taf. VIII). Wenn man jene Ströme in dieser Figur genauer besieht, so beobachtet man wieder Aehnliches, wie uns schon Fig. 10F, Taf. VII zu erkennen gab (vergl. p. 221), z. w. dass man meistens die von der Anheftungsstelle einer Prolification herablaufenden Ströme in nur wenig veränderter Weise bis zur Wunde erhalten sieht; dann gehen

sie seitwärts der Wunde entlang, biegen sich um die Enden dieser nach unten, um dann geraden Weges zum Blattstiele hinzuziehen. Die Ströme, welche bei der Verwundung unterbrochen wurden, sind zwischen der Wunde und der Blattbasis zwar noch immer vorhanden, doch zeigen sie sich deutlich abgeschwächt und verschwinden meistens völlig, bevor sie die Wunde erreichen.

Auch hier sieht man also, dass die Veränderungen über den Wunden weniger erheblich waren wie jene, welche unter diesen auftraten. Der Blattabschnitt zwischen den Wunden III und II ist in dieser Hinsicht sehr belehrend, weil auch zwischen diesen die von oben herabkommenden Ströme soviel wie möglich ihre ursprüngliche Richtung beibehalten, indem die Streifen, welche sich um die Enden von der Wunde III herabbiegen, nicht den kürzesten Weg wählen und sich geraden Weges zu den Enden von der Wunde II hinbegeben, doch zuerst wieder genau die Richtung zum Blattstiele annehmen, um sich in der Nähe von II nochmals seitwärts und dann um das Ende der Wunde herum in der Richtung zum Blattstiele hin zu biegen.

Die soeben beschriebenen Beobachtungen wurden alle im Winter 1886 bis 1887 angestellt. Im Sommer 1889 habe ich ähnliche Versuche wiederholt zur Verification der zuvor erhaltenen Resultate. Ohne Ausnahme zeigten alle verletzten Pflanzen wieder vollkommen ähnliche Erscheinungen wie jene, welche oben beschrieben wurden. Ausserdem habe ich aber bei den letzteren Versuchen nicht nur makroskopisch observirt wie zuvor, sondern auch die Versuchspflanzen mikroskopisch untersucht, zumal in der Umgebung der verletzten Stelle. Die Hauptsachen, welche ich dabei beobachtete, und welche vollkommen zu den beschriebenen, makroskopisch erhaltenen Resultaten stimmen, gehen aus der jetzt folgenden Beschreibung von einem jener Versuche hervor.

Die Pflanze, welche benutzt wurde, war klein und bestand ausschliesslich aus zwei Blättchen, welche beide einem anderen, noch kleineren, aufsassen; jedes der beiden war etwa 2 cm lang und an der breitesten Stelle 0.7 cm breit. Keins von beiden trug eine Prolification; die Pflanze schien also zum Versuch wenig günstig zu sein, doch um diese Zeit (Anfang Mai) stand mir keine bessere zu Gebote.

Eins dieser Blättchen wurde an der breitesten Stelle durch eine Querwunde verletzt, welche von einem Rande bis über die Blattmitte reichte, ähnlich also wie es mit dem Blatte in Fig. 10 A, Taf. VII geschah. Das Strombündel war im jetzigen Versuch aber viel schwächer wie dort, weil hier die Prolification fehlte.

Sogleich nach der Verletzung trat auch hier wieder das schmale weisse Band um die Wundränder herum auf, und es war mit dem Mikroskop leicht zu sehen, dass Chlorophyllkörner aus den Plasmaströmen herausgerückt und mitgeschleppt wurden durch die Strömung des jetzt feinkörnig erscheinenden Zellsaftes. Die normale Protoplasmabewegung in den centralen Strömen ging oberhalb sowie auch unterhalb der Wunde bis ganz nahe an das weisse Band in beiden Richtungen noch stets unverändert fort, doch innerhalb dieses war in den jetzt chlorophyllfreien Strängen keine oder nur höchstens eine äusserst schwache Strömung zu bemerken.

Schon etwa 18 Stunden, nachdem die Verletzung stattgefunden hatte, war ein deutlicher Strom aufgetreten, welcher, von unten aus dem Blattstiel heraufkommend, sich um das Wundende herumbog, bis er eine quere Richtung angenommen hatte; dann bog er sich aber in dem nämlichen Sinne noch weiter und näherte sich also der Wunde, indem er sich dabei fächerförmig in zahlreiche feine Ströme auflöste. Diese letzteren standen dann nahe an der Wunde in Verbindung mit den älteren Strömen, welche in die Mittellinie des Blattes verliefen, doch trafen sie dabei unter einem sehr spitzen Winkel zusammen, welcher mit der Spitze zur Blattbasis hin gerichtet war. Diese Art von Communication schien aber einen Uebelstand für den Transport darzustellen, denn in den folgenden Tagen verschwanden solche Verbindungsweisen immer mehr, indem sich die Ströme aus der etwa queren Richtung in scharfem Bogen hinaufbogen. Einige wenige Zweige des grossen Stromes hatten schon von vornherein ihre Richtung nach oben hin genommen. Oberhalb der Wunde, ganz nahe am Blattrande, war zwei Tage nach der Verletzung ein feiner Strom aufgetreten, welcher von oben kommend sich beim Wundrande umbog und sich dann wieder zur Blattspitze richtete; auch in dieser war fortwährend in allen Theilen Strömung nach beiden Richtungen hin zu beobachten. Ausserdem war es deutlich, dass auch jener scharfgebogene Strom nur aus vielen

kurzen, centralen Strängen aufgebaut war. In den nächsten Tagen verschwand auch dieser, indem seine Längsströme sich immer mehr anschlossen an den grossen, über der Wunde in querer Richtung verlaufenden Strom, welcher sich allmählich in der Richtung von dem Wundende dem Blattrande zu vergrössert und ausgebildet hatte.

An allen Stellen des Blattes war stets in den centralen Strängen während der ganzen Dauer des Versuchs die normale Plasmabewegung deutlich wahrzunehmen, und daraus geht also hervor, dass alle Veränderungen, welche im Stromverlauf vor sich gehen, ausschliesslich auf das relative Stärker- oder Schwächerwerden von centralen Strömen beruhen, welche alle ohne Ausnahme schon von vornherein da sind. Neue Ströme werden also niemals gebildet.

Als alle Veränderungen im Stromverlauf aufgehört hatten, zeigten die Ströme eine fast vollkommen ähnliche Anordnung, wie die Fig. 10F, Taf. VII (vergl. p. 221) sie zeigt. Auch dort nämlich gingen die meisten von der Blattspitze herkommenden Ströme geraden Weges zur Wunde, versammelten sich dort zu einem, dem Wundrande parallelen Strom, welcher dann um das Wundende herum sich direct zum Blattstiele begab. Auch hier waren also die über der Wunde aufgetretenen Aenderungen weniger erheblich wie jene, welche unter ihr beobachtet wurden.

Zeigten die bisher beschriebenen Versuche also, dass man im Stande ist die Hauptstrombahnen zu veranlassen, ihre ursprüngliche Lage zu ändern und dabei selbst Richtungsabweichungen von 90° hervorzurufen, ohne dass diese die Functionen der Blätter erheblich zu stören schienen, so lag nun die Frage nahe, ob es auch vielleicht gelingen würde, die Abweichungen von der ursprünglichen Richtung noch grösser zu machen und die Ströme zu zwingen im Blatte stellenweise eine der vorhergehenden gänzlich entgegengesetzte Richtung anzunehmen und also die Ströme stellenweise völlig umzukehren.

Um diese Frage zu prüfen habe ich folgende Versuche angestellt.

Für den ersteren wurde ein Blatt gewählt, welches in kurzer Entfernung vom Blattstiele eine kräftige Prolification trug, zu deren

Stiel sich ein breites, scharf accentuirtes Strombündel hinzog (vergl. Fig. 11A, Taf. VII) [1]). Nachdem das Blatt gezeichnet war, wurde es durch eine schief gestellte Wunde in der Weise verletzt, dass jene nicht nur das ganze, erwähnte Bündel unterbrach, sondern dass sie ausserdem an der einen Seite bis zum Blattrande ging, während das freie Ende im Blatte neben der Anheftungsstelle der Prolification gelegen war, doch in der Richtung der Mittellinie gemessen etwa 4 mm höher wie diese. Wenn die gestörte Communication schliesslich zwischen Prolification und Blattbasis wieder hergestellt wurde, so müssten die neuen Strombahnen also eine schief ansteigende Richtung annehmen.

In Fig. 11B ist das nämliche Blatt abgebildet, wie es sich acht Tage nach der Verletzung verhielt. Während dieser Zeit war nahe an dem rechten Blattrande eine neue Wunde aufgetreten; in welcher Weise und wann diese verursacht wurde, blieb mir aber unbekannt. Letztere hatte ausserdem eine eigene Veränderung in den Strombahnen hervorgerufen, ähnlich wie man sie auf Fig. 13, Taf. VII am rechten Blatte beobachtet (vergl. p. 195).

Bei Vergleichung von Fig. 11A mit Fig. 11B bemerkt man zuerst, dass das Strombündel, welches von der Prolification zum Blattstiele herunterlief, bis auf sehr geringe Spuren gänzlich verschwunden war. Die Umgebung der Anheftungsstelle war blassgrün mit zahlreichen unregelmässigen, dunkleren Fleckchen mit verwischten Contouren. Die Communication zwischen jener Prolification und dem Blattstiele war also fast völlig aufgehoben und wurde auch in weiteren vierzehn Tagen (nachdem die zweite Zeichnung angefertigt war) nicht wieder hergestellt. Die Ströme, welche von der oberen, in dieser Figur nicht gezeichneten Prolification etwa in der Mitte des Blattes herabliefen, schienen etwas kräftiger geworden zu sein, doch alle hatten ihre Richtung unverändert beibehalten bis ganz in der Nähe der Wunde; dort endigten sie auf zwei (am Wundende sich zu einem einzigen vereinigenden) Ströme. Der letztere bog weiter um das Wundende herum nach unten und

1) Das Blatt, welches in Fig. 10A, Taf. VII abgebildet wurde, ist das nämliche wie das hier benutzte. Diese Figur zeigt also ihre Spitze, Fig. 11A hingegen ihre Basis. Das Blatt trug daher unten eine Prolification zur linken, oben eine zur rechten Seite.

ging dann geraden Weges dem Blattstiele zu. Aus jenem grossen Strome zweigten sich gleich unter der Wunde drei dünnere Seitenzweige ab, welche zuerst der Wunde parallel herunterliefen, bis sie etwa die Mitte des Blattes erreicht hatten, um dann, der Mittellinie folgend und währenddem schwächer werdend, in den Blattstiel einzudringen. Die Ströme, welche von oben her nahe am rechten Blattrande in einiger Entferung an der Wunde vorbeigingen, änderten ihre Richtung nicht, doch sie gingen um die kleinere Wunde herum dem Blattstiele zu.

Nachdem diese zweite Zeichnung angefertigt war, wurde der früher beschriebene Versuch (p. 218, vergl. Fig. 10A) angefangen und die Pflanze noch etwa vier Wochen nachher weiter cultivirt. Erhebliche Veränderungen traten in den neuen Strömen währenddem nicht auf, doch wurden bald die Anlagen neuer Organe sichtbar. Schon sechs Tage später, also 14 Tage nach dem Anfange des Versuches, zeigten sich auf dem Blatte über der schief gestellten Wunde einige, etwa zwölf, kleine punktförmige Erhebungen, alle in der Nähe der Anheftungsstelle der Prolification und höchstens bis zu 1.5 cm über ihr. Um diese weissgefärbten Pünktchen herum waren kleine grüne Fleckchen aufgetreten, von denen aus sich äusserst feine Streifen herunterzogen. Unmittelbar, etwa 0.5 mm unter dem unteren Wundrande, traten auch zwei derer auf, und diese hatten sich drei Wochen später zu rhizomartigen Organen entwickelt, welche resp. 2.5 und (das höher gestellte) 17 mm lang waren; einige deutliche Streifen gingen von beiden, zumal aber von letzterem aus, direct dem Blattstiele zu. Das längere, bis jetzt noch cylindrische Organ zeigte Neigung, sich in die Breite auszudehnen und würde sich daher wahrscheinlich später zu einem Blatte entwickelt haben[1]). Auch diese Entstehung neuer Organe scheint auf die völlige Unterbrechung der Communication zwischen Blatt und Prolification hinzudeuten; die Nahrungsstoffe, welche sonst der letzteren zuströmten, helfen jetzt die jungen Rhizome u. s. w. aufbauen. Die Prolification selbst hatte ebenso zwei neue cylindrische Organe ganz nahe an ihrer Spitze gebildet, welche etwa $3^1/_2$ Woche nach ihrem Hervor-

1) Ueber die allmähliche Entwickelung der Blätter aus rhizomähnlichen Anlagen, vergl. Nägeli, l. c. p. 142.

treten resp. 1.5 und 5 mm lang waren; welches Organ aus diesen hervorgehen würde, ob Blatt oder Rhizom, war alsdann noch nicht zu entscheiden. Neue Organe bildeten sich ausserdem an einem der kleineren Blättchen, mit dem das Blatt nach unten zu in Verbindung war, sowie auch an einem anderen, welches in der Nähe jenes dem nämlichen Rhizom aufsass. Da vor der Verwundung von diesen Neubildungen selbst keine Spur sichtbar war, scheint jene einen organbildenden Einfluss nicht nur auf das verletzte Blatt, sondern auch auf einige benachbarte ausgeübt zu haben.

In Bezug auf die gestellte Frage über die Verschiebungen, welche die Protoplasmaströme erleiden können, scheint der beschriebene Versuch also zu zeigen, dass es gelingt, die herabgehenden Ströme zu veranlassen, sich in schief ansteigender Richtung (oder die heraufsteigenden in schief herablaufender) zu bewegen, doch nur über geringe Entfernungen, weil dieses bei einer einigermaassen erheblichen Distanz, wie von der erwähnten Prolification zum Wundende, mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden zu sein scheint.

Wie bei den vorigen Versuchsresultaten möchte ich auch hier auf den Unterschied hindeuten, welchen die Fig. 11B zeigt in Bezug auf den Stromverlauf oberhalb und unterhalb der Wunde. Auch hier sieht man, dass das von der oberen (in der Figur nicht gezeichneten) Prolification herunterkommende Strombündel seine normale Orientirung bis zum Wundrande vollkommen beibehalten hat, dass die Ströme sich dort alle in zwei andere versammeln, welche dem Wundrande parallel verlaufen und in gerader Linie zum Blattstiele hinziehen, sobald sie das Wundende erreicht haben. Unterhalb der Wunde zeigten sich aber nur drei vereinzelte, sehr feine Strömchen, welche ihre ursprüngliche Stellung beibehalten hatten.

Bei einem zweiten Versuche, welcher zugleich mit dem vorigen anfing und mit einem anderen kräftigen Blatte der nämlichen Pflanze angestellt ward, wurden unter zwei kräftigen Prolificationen zwei Wunden in kurzer Entfernung unter einander in der Weise angebracht, wie es Fig. 15A auf Taf. VIII zeigt. Die von der Prolification und von der Blattspitze herablaufenden Ströme wurden also genöthigt, über eine kurze Strecke eine aufsteigende Richtung anzunehmen, wenn sie die Blattbasis erreichen sollten. Die in der

Figur gezeichneten Streifen deuten die Protoplasmaströme an, wie sie sich unmittelbar vor der Verwundung zeigten.

Sogleich nach der Verletzung trat aus den Wunden die beschriebene schleimige Masse hervor; an den Theilen jener, welche eine quere Richtung zur Mittellinie des Blattes hatten, zeigte der Plasmapfropfen eine dunkelgrüne Farbe, während dieser an den Längswunden trübweiss war (vergl. unten p. 207 und 208).

Im Blattabschnitte zwischen den beiden Wunden traten sehr bald noch weitere Veränderungen ein, welche sogleich vermuthen liessen, dass es nicht gelingen würde, die Stromrichtung in der gewünschten Richtung zu erzwingen. Fig. 15B giebt an, wie das Blatt sich fünf Minuten nach der Verletzung zeigte; zwei schmale weisse Bänder waren aufgetreten; das eine ging von der einen Wunde zur andern, das zweite von der unteren Wunde bis zum linken Blattrande; innerhalb dieser beiden weissen Streifen trat bald nachher der beschriebene gelbe auf (p. 209), so dass es wahrscheinlich war, dass jede Communication für immer aufgehoben war. Oberhalb jener beiden Streifen hatte eine ansehnliche Anhäufung von Chlorophyllkörnern auf den centralen Strömen stattgefunden, wie aus den, an jenen Stellen sehr dunkel gewordenen Längsstreifen hervorging. Aus der relativen Stellung der weissen und grünen Streifen geht also auch hier deutlich hervor, dass sie durch den Zellsaftstrom infolge der Aufhebung der Turgorausdehnung hervorgerufen wurden, denn bei beiden war wie immer der grüne Streifen zum sich am wenigsten verkürzenden Theile, also zum kleinen Blattabschnitte zwischen den beiden Wunden, hingewandt (vergl. p. 210). Die wiederholte Beobachtung an den folgenden Tagen bestätigte die Richtigkeit der vermutheten unterbrochenen Communication, da das Blatt an der Stelle zwischen den Wunden schliesslich völlig abstarb.

Wie beim vorigen Versuche, so wurde auch bei diesem die gehemmte Communication die Veranlassung zur Bildung von neuen Organen auf dem oberen Blattabschnitte. Dreizehn Tage nach der Verletzung traten die Neubildungen als kleine weisse Pünktchen auf und zwar neun auf dem Hauptblatte, sechs auf der unteren und elf auf der oberen Prolification. Zu jeder dieser kleinen Erhebungen sah man wieder eine oder mehrere scharfe dunkle Linien sich hinziehen, hauptsächlich von der Seite der Blattbasis her. Fünf Wochen

nach dem Anfange des Versuches hatten sie sich zu rhizomartigen Organen ausgebildet, deren Länge zwischen 5 und 15 mm wechselte, ausserdem waren aber noch zahlreiche neue Anlagen aufgetreten, welche bis 1 mm lang waren.

Die Unterbrechung der Communication zwischen der oberen und der unteren Hälfte des Blattes, welche durch die plötzliche und sehr ansehnliche Verwundung hervorgerufen wurde, macht, dass dieser Versuch nicht im Stande ist, etwas über die Frage nach der Möglichkeit einer Umkehrung des Nährstoffstromes auszusagen.

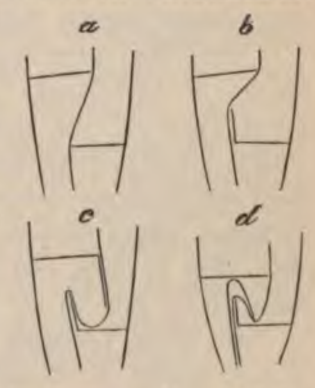
Als ich diesen Versuch später mit drei anderen Pflanzen wiederholte, wurden, um den zuvor eingetretenen Uebelstand zu vermeiden, die rechtwinklig gebogenen Wunden, von vollkommen der nämlichen Form, wie Fig. 15, Taf. VIII sie angiebt, nicht mit einem Male gemacht, sondern allmählich, d. h. in vier Theilen; jedesmal wurde erst der folgende Theil der Wunde angebracht, als keine directe Unterbrechung der Communication durch Zerreissen der centralen Plasmaströme mehr zu befürchten war. Die Wunden wurden immer in kurzer Entfernung unterhalb kräftiger Prolificationen gemacht.

Am Morgen des 27. Juni 1889 fingen die Versuche an. Zuerst wurde die obere Querwunde gemacht, dann Abends die untere Querwunde; diese gingen um etwa ein Drittel der Blattbreite an einander vorbei. Nach 29 Stunden hatten die Hauptströme die Richtung angenommen, welche der Holzschnitt in der untenstehenden Figur *a* in schematischer Weise angiebt. Dann wurde die untere Längswunde angebracht und die Pflanzen vorläufig ohne weitere Verletzung im grossen Bassin (vergl. die Einleitung p. 173) weiter cultivirt, damit die Ströme eine definitive Stellung einnähmen, bevor die vierte, also die obere Längswunde gemacht wurde.

Als am 6. Juli, also acht Tage nach dem Anfange, die Pflanzen genauer betrachtet wurden, zeigte sich, dass bei allen die Bildung neuer Organe stattgefunden hatte, da an den oberen Rändern von allen Querwunden viele etwa 5 mm lange Rhizoiden zu sehen waren. An einer dieser Pflanzen (B) hatte sich ausserdem aus dem Stiele einer Prolification, welche 5 mm oberhalb der Mitte der oberen Querwunde eingepflanzt war, ein kräftiges Rhizom entwickelt, welches 12 mm lang war. Drei Tage später war das Rhizom schon

27 mm lang und trug ein verkehrt-herzförmiges Blättchen von 12 mm und ausserdem sieben Bündel junger Rhizoiden.

Deutete diese Organbildung schon darauf hin, dass die Wunden eine bedeutende Hemmung in der Communication zwischen Blattbasis und -spitze hervorgerufen hatten, so bewiesen die Ströme es noch deutlicher. Denn, obwohl nicht alle Verbindung unterbrochen war, so stellten doch nur zwei oder drei feine Strömchen die directe Communication dar, anstatt der sehr vielen, welche früher da waren. Alle die kleineren, feinen Strömchen, welche man nur mit Hülfe des Mikroskops sehen kann, waren zwar alle noch vorhanden, aber die grösseren, welche sonst geradeaus zum Blattstiel verliefen, fehlten bis auf einzelne völlig. Diese bogen sich in zwei der Versuchsblätter um das Wundende der oberen Querwunde direct nach dem oberen Ende der unteren Längswunde zu, wobei sie nur etwa 40° von der Blattmittellinie abwichen, und gingen um die letztere herum zu dem Blattstiele hin (vergl. nebenstehende Figur *b*).



Nur das dritte Blatt (C) zeigte ein völlig abweichendes Verhalten. Die Ströme gingen bei diesem nämlich neben dem Ende der oberen Wunde gerade herunter, bis sie auf die untere Querwunde stiessen. Dann kehrten sie in einem kurzen Bogen zurück und gingen ein wenig seitwärts hinauf, bis sie gerade oberhalb des Endes der Längswunde auf die obere Querwunde trafen, kehrten nochmals zurück und nahmen dann den directen Weg zum Blattstiel. Hier hatten die Ströme, welche aber auch nur schwach waren, also einen zickzackförmigen Verlauf angenommen. Der Winkel zwischen den einzelnen Theilen dieser Bahn war auch ungefähr gleich 40°.

Am nächsten Tage (vergl. Fig. *d*) war der Zustand nur in soweit geändert, dass der Strom, welcher von oben her auf die untere Querwunde traf, beim Aufwärtsumbiegen in zwei andere Ströme getheilt war, der eine hatte die ursprüngliche Lage beibehalten, der andere ging aber direct dem oberen Ende der Längswunde zu und bog sich dort sogleich nach unten. (Siehe weiter im Anhang.)

Wenn ich an diesem Blatte jetzt auch den vierten Theil der Wunden, also die obere Längswunde, gemacht hätte, so würde diese natürlich auf den Stromverlauf keinen Einfluss ausgeübt haben, weil er gerade in einem der beiden Winkel liegen und also kein Strombündel unterbrechen würde; daher wurde dieses unterlassen.

An einem der beiden anderen Versuchsblätter (B) wurde aber am 9. Juli 1889 die obere Längswunde gemacht, welche also das Bündel durchschnitt, welches um die obere Querwunde herum sich nach dem oberen Ende der Längswunde bog. Zwischen den beiden Längswunden traten nun sogleich die schon mehrfach erwähnten weissen und grünen Streifen auf; eine Unterbrechung der Communication fand dabei aber nicht statt, und daher waren diese Streifen nach einigen Stunden wieder vollkommen verschwunden.

Einen Tag später waren aber schon neue Ströme aufgetreten, welche die Verbindung zwischen Blattspitze und Basis herstellten (vergl. Figur *c*). Die Ströme gingen dann der neuen Längswunde entlang herunter, bogen sich etwa in einem halben Kreise um, wobei diese erst die untere Querwunde und nachher die untere Längswunde berührten, gingen dann der letzteren entlang hinauf, bogen sich an deren Ende in einem sehr scharfen Bogen wieder abwärts und gingen dann wieder nahe an der Längswunde zum Blattstiele herunter.

Aus diesen Versuchen meine ich also schliessen zu dürfen, dass es zwar gelingt, die Ströme zu zwingen in einer Richtung zu gehen, welche der normalen entgegengesetzt ist, doch nur wenn die Umkehrung allmählich geschieht und über eine kurze Strecke stattfindet. Die Organbildung, welche währenddem auftritt, deutet aber darauf hin, dass schon die Querwunden eine sehr ansehnliche Hemmung im Nahrungstransport hervorrufen und diese bildet einen Uebelstand, durch welchen der Nachweis der Möglichkeit einer normalen Ernährung bei vollständiger Umkehrung sehr erschwert wird.

Bei der Besprechung der Protoplasmaströmung in den Blättern wurde hervorgehoben, dass diese Bewegung in zahlreichen Strängen vor sich geht, welche zwischen den Balken ausgespannt sind, sowie dass die Intensität der Strömung abnimmt, jemehr sich der Strom der Spitze oder dem Rande des Blattes nähert (vergl. p. 188). Plasmaströme aber, welche bis dorthin verlaufen, dann sich umbiegen und auf einem anderen Wege zur Blattbasis zurückkehren,

wurden dort nicht besprochen, weil man solche niemals an völlig normalen Blättern beobachtet. Nur in abnormalen Fällen dagegen und zwar dann, wenn die regelmässige Plasmaströmung ansehnlich gehemmt oder völlig unterbrochen wurde, treten derartige Ströme, welche Schlingen bilden, allmählich auf und sind entweder nur vorübergehend da, wie im oben (p. 224) beschriebenen Falle, oder bleiben fortwährend sichtbar. Fig. 16, Taf. VIII zeigt ein verkehrt-herzförmiges Blättchen (die Prolification, welche von diesem getragen wird, ist das nämliche Blatt, wie jenes aus den Figuren 10 und 11, Taf. VII), welches einige solcher schlingenförmigen Strombahnen zeigt. Die Communicationsstörungen, durch die zuvor beschriebenen Verwundungen hervorgerufen, hatten ohne Zweifel diese abnormale Form der Plasmaströmung veranlasst.

Viel schöner traten derartige Ströme aber im Blatte auf, welches zum oben (p. 228) beschriebenen Versuch benutzt wurde; dieses geht schon aus der Fig. 15C hervor, welche das nämliche Blatt von Fig. 15A mehrere Wochen nach der Verletzung darstellt. Inzwischen war das Blatt in zwei Theile getrennt, während das abgestorbene Zwischenstück völlig fehlte (in der Figur sind beide Theile in ihrer ursprünglichen gegenseitigen Lage abgebildet worden). Im oberen Abschnitte sind die Ströme nur in der linken Hälfte des Blattes angegeben, da nur dort dieselben einen charakteristischen Verlauf zeigten. Man sieht, wie im basalen Theile des Blattes drei scharfe Ströme in gerader Richtung bis ganz nahe an die Wunde hinaufgehen, um dort, nachdem zwei zu einem verschmolzen sind, umzukehren, die beiden nach links, der dritte nach rechts, und dann in gebogenem Verlauf, während welchem sich auch die beiden letzteren vereinigen, in den Blattstiel einzudringen zusammen mit zahlreichen anderen, welche viel dünner waren und keine solche Schlingen gebildet hatten. Am oberen Abschnitte hatten sich zwei Rhizome gebildet, resp. 10 und 23 mm lang; vom oberen richtete sich ein kräftiger Strom dem unteren zu, welcher sich in zahlreiche kleinere auflöste, kurz bevor er jenen erreichte; ähnlich verhielt sich eine scharfe Linie, welche vom unteren Rhizome aus der Anheftungsstelle der Prolification zugeht, von welcher letzteren wiederum viele schwache Strömchen im Bogen herabliefen. Mit dem unteren Rhizome standen aber ausser-

dem noch zwei Ströme in Verbindung, welche die erwähnten Schlingen zeigten. Der eine ging nach oben, um in der Nähe des oberen Rhizoms sich umzubiegen und, stets dünner werdend, nach dem unteren zurückzukehren. Ganz anders verhielt sich aber der zweite. In gebogener Richtung bewegte sich dieser der Wunde zu, bog sich in kurzer Entfernung von ihr rechtwinklig um und ging dabei als ein querverlaufender Strom an ihr entlang. An verschiedenen Stellen gab dieser dann etwa zwölf Seitenströme ab, welche sich wieder rechtwinklig zurückbogen und alle unter einander parallel zur Blattspitze gingen.

Auch in den besprochenen Versuchen mit den drei Blättern (vergl. p. 230 ff.) traten bei allen ähnliche Ströme auf, welche von der Prolification bis zur oberen Querwunde heruntergingen, sich umbogen und dann wieder ihren Weg hinaufnahmen.

Dass das Auftreten jener eigenthümlichen Strombahnen nur durch die Verletzung, also durch gehemmte Communication hervorgerufen wurde, wird also wohl keinem Zweifel unterliegen.

Bei der Beschreibung der Resultate, welche die obigen Verwundungsversuche lieferten, wurde schon an verschiedenen Stellen darauf hingewiesen (vergl. p. 221, 222, 225 und 228), dass sich ein merkwürdiger Unterschied zeigte in Betreff der im Stromverlauf veranlassten Veränderungen zwischen dem unter der Wunde liegenden Blattabschnitt und demjenigen über ihr. Der Hauptsache nach besteht dieser Unterschied darin, dass nach Beendigung der Aenderungen der Stromverlauf oberhalb der Wunde viel weniger von dem ursprünglichen Zustande abweicht, wie jener unter der Verletzung.

Dieser Unterschied legt den Gedanken nahe, als würde die Richtung jedes einzelnen Stromes durch den apicalen Blattabschnitt regulirt, in der Weise nämlich, dass ein von oben (also von der Blattspitze oder von einer Prolification) herunterlaufender Strom unter allen Umständen seine Richtung beizubehalten sucht, und erst dann von dieser abweicht, wenn er auf eine Hemmung stösst, wie die Wunden, oder die Unterbrechung der centralen Ströme im Allgemeinen, in unseren Versuchen dergleichen darstellten. Dann geht der Strom diese Hemmung entlang und biegt sich am Ende derselben

geraden Weges dem Blattstiele zu, ohne also zuerst zu ihrer vorigen Stelle in der Blattmitte zurückzukehren.

Bestände in Hinsicht auf die Stromregulirung kein Unterschied zwischen Spitze und Basis, so müssten z. B. entweder die von der Prolification herunterlaufenden Ströme sich direct zum Ende der Wunde hinbegeben und dann den geraden Weg zum Blattstiele nehmen, oder es müsste das Bündel, nachdem es in der Weise, wie man es immer beobachtet und es oben beschrieben wurde, das Ende der Wunde erreicht hat, durch einen zweiten quergestellten Strom, dem unteren Wundrande entlang laufend, die Blattmitte wieder aufsuchen und dann auch hier seine frühere Bahn (in der Blattmitte) beibehalten und in unveränderter Weise den Blattstiel zu erreichen suchen. Nur wenn einer von den beiden Fällen aufträte, würden Blattbasis und -spitze sich bei der Stromregulirung gleich verhalten. Die Versuche lehrten aber, dass dieses nicht stattfindet. Nur selten wählen einzelne Ströme den zuletzt beschriebenen Weg, doch solche sind erstens viel weniger zahlreich und viel schwächer wie die übrigen, und zweitens folgen sie den so vorgeschriebenen Weg öfters nur theilweise, indem sie immer eine Neigung zeigen, von der Mittellinie abzuweichen.

Auch das Ansammeln von Chlorophyllkörnern an dem oberen Wundrande, welches man kurze Zeit nach der Verletzung beobachtet, sowie das zu gleicher Zeit stattfindende Sichzurückziehen jener Körner von dem unteren Rande (vergl. p. 213) findet auch statt durch eine Bewegung, welche in beiden Fällen von der Blattspitze zur Basis hin gerichtet ist. Niemals beobachtet man eine Ansammlung unter der Wunde oder ein Sichzurückziehen nach oben hin. Früher (p. 214) wurde schon hervorgehoben, dass bei diesem Vorgange keine mechanische Ursache mitwirkt.

Das aus den oben beschriebenen Versuchen hervorgegangene Resultat, dass die querverlaufenden Ströme, welche nachträglich oberhalb einer Wunde auftreten (wie z. B. jene in Fig. 10, Taf. VII) welche bis zum einen Blattrande reicht, sich immer nur nach der Seite des freien Wundendes entwickeln und diese sich niemals, auch nicht vorübergehend in der anderen Richtung ausdehnen, könnte vielleicht zu der Bemerkung verführen, dass hierdurch gezeigt wird,

dass die Regulirung der Ströme ausserdem, wenn auch zum kleinen Theil, von der Blattbasis beeinflusst ist.

Wenn durch eine solche Wunde jede Verbindung zwischen Blattbasis und Blattspitze aufgehoben war, so würde es allerdings nicht einzusehen sein, warum die von oben herunterkommenden Ströme sich nicht auch nach dem Blattrande hin in querer Richtung entwickeln sollten. Man soll hierbei aber bedenken, dass an jeder Stelle des Blattes zahlreiche feine Ströme vorkommen, welche in den verschiedensten Richtungen verlaufen, in denen ein fortwährender, wenn auch schwacher Nahrungstransport stattfindet und welche also auch dann noch eine Communication darstellen, nachdem die Verletzung stattgefunden hat. Dieses, in Verbindung mit dem Umstand, dass die neuen Ströme, d. h. die Ströme, welche erst später sich bei makroskopischer Beobachtung zeigen, ausschliesslich durch das Mächtigerwerden von einzelnen solchen feinen Strängen entstehen, erklären wohl zur Genüge, warum der querverlaufende Strom sich nicht anfangs bis zum Blattrande fortsetzt, denn an dieser Seite ist durch die Wunde jede Communication mit dem basalen Blattabschnitte vollkommen und für immer unterbrochen.

Die Blätter von Caulerpa zeigen diesen Unterschied zwischen Spitze und Basis in Bezug auf den Stromverlauf aber nicht erst, nachdem sie verwundet wurden, sondern auch alle normalen, proliferirenden Spreiten zeigen Erscheinungen, welche auf das Nämliche hindeuten, und diese sind die Bündel von Plasmaströmen, welche von der Anheftungsstelle einer jeden Prolification heruntergehen. Niemals geht auch nur ein einzelner Strom hinauf, und selbst diejenigen Ströme, welche von Stellen herkommen, welche gerade über der Prolification liegen, gehen in einem Bogen um die Anheftungsstelle dieser herum und treten also dort in keinerlei directe Verbindung mit grösseren Strömen der secundären Spreite. Auch im völlig unverletzten Blatte wird also die Richtung der Strombündel von den oberen Theilen bestimmt.

Auch einige andere Erscheinungen, welche bei Caulerpa bekannt geworden sind, deuten auf einen Unterschied hin, welchen die Blätter unserer Pflanzen zeigen in Beziehung zu ihrer morphologischen Spitze und Basis. An ersterer Stelle erwähne ich die Erscheinung, dass an abgeschnittenen Blättern die neuen Rhizoiden

unter allen Umständen nur an derjenigen Wunde auftreten, welche der morphologischen Basis zugewandt war. Dieses Resultat hat Wakker[1]) durch specielle Versuche erhalten, und zu wiederholten Malen hatte ich Gelegenheit, es zu bestätigen[2]). Auch wenn man ein Blatt stark verwundet, ohne dass es dabei in zwei Theile getrennt wird, treten die Rhizoide nur in sehr geringer Entfernung oberhalb des oberen Wundrandes auf. Diese Ergebnisse scheinen also auch auf eine Art von Polarität, wie man das Verhalten kurz benennen könnte, hinzuweisen. Das Verhalten normaler Blätter giebt aber auch schon Veranlassung, an eine solche Eigenschaft zu denken, nämlich wenn man den oben schon öfters hervorgehobenen Umstand beachtet, dass in den meisten Fällen die Prolificationen ganz nahe unter der Spitze der Blätter auftreten. Auch an schwerverwundeten Blättern, welche nachher zahlreiche neue Organe bilden, kann man öfters beobachten, dass die Neubildungen am unteren Wundrande zu Blättern auswachsen (vergl. p. 168), während andere in der Nähe vom oberen Wundrande zu Rhizoiden werden (p. 168).

Aus dem Verhalten der Protoplasmastränge wurde oben (p. 169) abgeleitet, dass in den Blättern von Caulerpa die Bahnen, in denen der Nahrungstransport stattfindet, hauptsächlich von der organischen Spitze her regulirt werden.

Es hat nun den Anschein, als wenn auch die Rhizoidbildung unter dem Einflusse dieses abwärts gerichteten Stromes stände; die Blattbildung würde dann vielleicht unter dem eines aufsteigenden Stromes stehen, doch das Vorkommen von einem solchen lässt sich nicht so leicht anzeigen.

Ich würde diesen möglichen Einfluss hier wahrscheinlich nicht erwähnt haben, wenn nicht eine Vergleichung mit den bekannten Erscheinungen an allen höheren Pflanzen mich gelehrt hätte, dass diese im Grossen und Ganzen fast vollkommen das nämliche zeigen. Nur einige der vornehmsten Thatsachen wünsche ich hier zu nennen, um dadurch die physiologische Aehnlichkeit zwischen Caulerpa und den höheren Pflanzen hervorzuheben.

---

1) l. c. p. 255.

2) Vergl. auch oben die Angaben über die beobachtete Bildung neuer Organe an den Blättern, welche zu den vorigen Versuchen benutzt wurden (p. 168 ff.).

Dass ein Strom besteht, welcher, unabhängig von allen anderweitigen Umständen, immer von der morphologischen Spitze nach der morphologischen Basis hin sich zu bewegen sucht, war schon den ältesten Pflanzenphysiologen bekannt, von denen ich hier nur Duhamel du Monceau und Knight nennen will[1]). Sie leiteten diesen Schluss ab aus den Erfolgen, welche sie an Bäumen beobachteten, wenn diese durch eine quer oder schiefgestellte Wunde bis auf das Holz verletzt wurden; immer bemerkten sie dann, dass oberhalb der Wunde die Rinde in die Dicke zu wachsen anfing und reichlichen Callus bildete, während der untere Wundrand hingegen zusammenschrumpfte und kein oder kaum einigen Callus bildete; ein Theil der Rinde unterhalb der Wunde starb dann nachher vollkommen ab, und jener Theil hatte die Form eines Dreiecks, welches den unteren Wundrand zur Basis hatte und dann nach unten hin sich zuspitzte. Der absteigende Strom wurde also bei der Wunde aufgehalten, theilte sich in zwei Theile, jeder dieser bog sich um eines der Enden der Wunde herunter, beide näherten sich unter dieser erst allmählich und schmolzen dann zusammen. Der zwischen ihnen liegende dreieckige Abschnitt starb dann ab wegen Nahrungsmangel.

Allgemein bekannt ist weiter, dass, wenn man an abgeschnittenen Stecklingen von Salix, Rosa u. s. w. einen Bastring bis auf das Holz entfernt, die Callusbildung sowie auch die neuen Wurzeln nur an dem oberen Wundrande auftreten, und dass sich bei genügendem Nahrungsvorrath auch Knospen entwickeln, doch nur diejenigen, welche sich nahe am oberen Wundrande befinden.

Auch in den Fällen von partiellen Ringwunden, bei denen also noch ein Rindenstreifen die Communication zwischen den beiderseitigen Theilen vermittelt, beobachtet man die nämlichen Erscheinungen wie bei einer totalen ringförmigen Verletzung, nur in einem quantitativ geringeren Grade.

Als letztes Beispiel erwähne ich die Kämme, welche man an den Stämmen grösserer Bäume, wie z. B. bei Populus, beobachten kann, und welche immer von einem starken Ast geraden Weges herunterlaufen zu einer gleichfalls grossen Wurzel.

---

1) Diesen Strom nannte man den „heruntergehenden Saftstrom“ oder „sève élaborée“.

Dass auch bei den Bäumen ein aufgehender Strom besteht, welcher also unter allen Umständen die Neigung hat sich in der Richtung von der Basis des Stammes zu seiner Spitze zu bewegen, war auch schon Duhamel bekannt[1]). In diesen Jahrbüchern habe ich früher[2]) versucht zu zeigen, dass die Ursache dieses vielleicht grösstentheils auf die einseitige Wirkung der Markstrahlzellen zurückzuführen sei. Die älteren Pflanzenphysiologen hatten auch die Ueberzeugung, dass die Ausbildung und das Treiben der Knospen unter dem Einflusse des aufsteigenden Saftstromes stehen.

Wenn man die hier nur sehr kurz erwähnten Ergebnisse betrachtet, in Beziehung zu den Resultaten, welche die Beobachtungen und Versuche mit Caulerpa lieferten, so wird man eine höchst überraschende Uebereinstimmung bemerken; denn neben jeder der Erscheinungen, welche uns die höheren Pflanzen zeigten, kann man eines jener Resultate stellen, welche mit Caulerpa erhalten wurden und welche bei dieser Pflanze auch von den nämlichen Umständen hervorgerufen wurden.

Gerade wie an der Baumrinde beobachtet man auch am Caulerpa-Blatte, dass an einer Querwunde die Ströme beim oberen Wundrande aufhören, an dieser entlang seitwärts gehen und um die Enden der Wunden sich herunterbiegen, doch sich gegenseitig nur allmählich nähern und sich erst in einiger Entfernung von der Wunde vereinigen. Auch bei Caulerpa wird also ein solches Dreieck gebildet (vergl. in diesem Abschnitte besonders p. 168 ff.), welches hier nun zwar nicht abstirbt, wie bei den Bäumen, doch an der weiteren Lebensthätigkeit des Blattes kaum mehr theilnimmt, da alle kräftigeren Plasmaströme in ihm aufgehört haben.

Auch bei Caulerpa beobachtet man, dass die Rhizoiden sich nur am oberen Wundrande bilden, also so weit als möglich nach der basalen Richtung des Organs hin, während die secundären Spreiten (in gewisser Hinsicht bei Caulerpa die aequivalenten Gebilde der Knospen höherer Pflanzen) vielfach so weit als möglich

---

1) Dieser Strom trug den Namen „aufsteigender" oder „roher Saftstrom" auch „sève ascendant" genannt.

2) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze. Jahrb. f. wiss. Botanik 1887, Bd. XVIII, p. 61 ff.

nach der apicalen Seite hin entstehen, also nahe an der Blattspitze oder am unteren Wundrande.

Mit den Kämmen und Leisten auf den Stämmen unserer Bäume stimmen ausserdem vollkommen die Strombündel überein, welche von jeder Prolification im Blatte zum Stiel herunterlaufen und sich niemals nach oben verbreiten, ebenso wenig wie man die Kämme oberhalb eines grossen Astes sich ausdehnen sieht.

Der einfachen Organisation von Caulerpa wegen könnte man vermuthen, dass es hier leichter sein würde, der Ursache des polären Verhaltens nachzuspüren, doch bin ich leider nicht im Stande, Näheres darüber auszusagen, da meine Versuche bis jetzt kein neues Licht auf den Sachverhalt werfen. Nur mag es von Wichtigkeit sein zu bemerken, dass die Plasmaströmung nicht die Ursache oder allerdings nicht die directe Ursache jenes Verhaltens darstellt. Dieses geht nämlich auch aus dem schon mehrfach hervorgehobenen Umstande hervor, dass in den Strängen die Bewegung vom Plasma sowie von den Chlorophyllkörnern eine quantitativ vollkommen gleiche sein muss in der Richtung nach der Blattbasis wie in jener nach der Blattspitze hin. Qualitativ müssen natürlich Verschiedenheiten zwischen beiden Strömen bestehen, da beide zur Ernährung dienen und alle nothwendigen Substanzen zu den wachsenden Theilen schaffen, aber es ist wohl unwahrscheinlich, dass diese qualitative Differenz eine derartige sein würde, dass durch diese allein die verschiedenartige Organbildung an bestimmten Stellen hervorgerufen würde.

Auch bei Caulerpa bleibt also zur Erklärung von jenem Verhalten, welches wir oben kurz mit dem Worte Polarität bezeichneten, vorläufig nur übrig, seine Zuflucht zur Annahme erblicher Eigenschaften zu nehmen.

Aus der Aehnlichkeit, welche sich zwischen Caulerpa und den höheren Pflanzen zeigte in Bezug auf jenen auf- und absteigenden Strom darf man ausserdem schliessen, dass bei beiden die Ursachen wohl die nämlichen sein werden.

III.

Bewegung des Protoplasma in den Rhizomen.

Im ersten Abschnitte wurde hervorgehoben, dass es leicht ist in den zahlreichen Strängen, welche im Blatte verlaufen, die Bewegung des Plasma durch das ganze Organ hindurch zu verfolgen. Im breiteren Theile liegen die kräftigen Ströme ziemlich weit aus einander, doch in der Nähe der Blattbasis rücken sie immer mehr zusammen und dringen dann in den Blattstiel ein. Soweit es sich beurtheilen lässt, bleiben sie dabei meistens gesondert, neben einander herlaufend, ohne dass sie also zu einer geringeren Anzahl verschmelzen. Es ist äusserst schwierig, die Strömung weiter zu verfolgen, sobald die Stränge im Blattstiel angelangt sind, da seine dunkelgrüne Farbe, welche zum Theil von den dicht gedrängten Chlorophyllkörnern im Wandbeleg herrührt, jede genauere Wahrnehmung des Inhalts verhindert.

Mit der Aenderung der äusseren Form tritt im cylindrischen Blattstiel sowie im gleichgestalteten Rhizome eine vom Blatte abweichende Orientirung der Zellstoffbalken ein. Im letzteren Organe stehen alle fast parallel neben einander und sind senkrecht zur Blattoberfläche orientirt; die cylindrischen Organe zeigen hingegen in ihrem Innern ein unregelmässiges Netzwerk von Fäden, welches hervorgerufen wird durch die in verschiedenen Richtungen verlaufenden, vielfach anastomosirenden Balken. Häufig kreuzen diese die Achse des Organs annähernd unter einem rechten Winkel, doch zahlreiche der Achse parallele Balken gesellen sich zu den vorigen, und alle diese zusammen bilden ein sehr complicirtes Ganzes.

Die Vertheilung des Protoplasma ist im Blattstiel und im Rhizom vollkommen ähnlich, wie sie für die Blätter beschrieben wurde.

Der Wandbeleg, welcher zu gleicher Zeit zahlreiche Chlorophyllkörner einschliesst, wurde soeben erwähnt; das Balkenplasma lässt sich auch sehr leicht beobachten, sowohl wenn man einen Balken von der Seite betrachtet, als wenn man einen im optischen Durchschnitt sieht. Zahlreiche neben einander herlaufende Stränge von grüngefärbtem Protoplasma, welche fast ausschliesslich eine der Achse

parallele Richtung haben, stellen die Communication zwischen jenen, die Balken umhüllenden Schichten dar.

Die periphere Plasmaschicht schien stets in der vollkommensten Ruhe zu verkehren, und ebenfalls war in der Balkenbekleidung keine Bewegung zu beobachten; die sehr lebhafte Strömung ging aber auch hier wieder in jenen Plasmasträngen vor sich, in welchen zahlreiche Chlorophyllkörner mitgeschleppt wurden, so dass hier wiederum die Ströme dunkelgrün erschienen. Dennoch war es aber nicht leicht die Bewegung an jeder beliebigen Stelle zu constatiren, zumal weil man der Dicke des Rhizoms wegen, welche bis etwa 1.5 mm betragen kann, das Mikroskop nur auf jene Stränge einstellen kann, welche sich ziemlich nahe an der Wand befinden.

In vielen Fällen gelang es mir aber, zumal bei hellgrünen Rhizomen, die Bewegungen in den Plasmasträngen wahrzunehmen und zu verfolgen. In nichts wich sie ab von der beschriebenen Strömung in den Strängen der Blätter; auch hier zeigte sich auf jedem Strange eine Bewegung in den beiden entgegengesetzten Richtungen. Die Geschwindigkeit, mit der die Chlorophyllkörner fortgeschoben wurden, weicht ausserdem wenig von dem Werth ab, welcher in den Blättern bestimmt wurde. In einem Strome z. B., an einer Stelle etwa 8 mm von der Rhizomspitze entfernt, wurde diese auf 165 μ pro Minute bestimmt.

Ueber die ganze Länge des Rhizoms mag diese Geschwindigkeit nur geringe Aenderungen zeigen, doch in der unmittelbaren Nähe der Spitze nimmt diese allmählich ab, zumal ist sie aber gering an der Spitze, wo das schnelle Wachsthum stattfindet und die Farbe eine weisse ist; diese letztere ist auch hier die Folge des Vorhandenseins von milchweissem Plasma, wie man es auch in den Spitzen wachsender Blätter antrifft und welches schon früher (p. 164) beschrieben wurde.

In einem Falle, wo die Rhizomspitze eine Dicke von nur etwa 0.3 mm zeigte, konnte ich die Strömung aber noch in sehr dünnen Fäden beobachten, welche nur etwa 0.25 mm von der wachsenden Spitze entfernt waren. Selbst an diesem Orte war die Bewegung noch eine ziemlich schnelle, obwohl deutlich geringer wie in den ausgewachsenen Rhizomtheilen.

Das Strombündel, welches aus dem Blatte in den Blattstiel über-

tritt, setzt sich also ununterbrochen bis in das Rhizom fort, wegen der offenen Communication zwischen jenen beiden Organen; die Stränge, aus denen jenes zusammengesetzt ist, bleiben dabei stets in einiger Entfernung von der Aussenwand und treten also nicht in directe Verbindung mit dem Wandbeleg. (Siehe weiter im Anhang.)

IV.

Bewegung des Protoplasma in den Rhizoiden.

War die Strömung des Protoplasma in den Rhizomen nur sehr schwer zu beobachten, an den Rhizoiden lässt sich diese Bewegung hingegen ungemein leicht in allen Einzelheiten studiren. Die geringe Dicke dieser Organe, sowie das Fehlen der dunkelgrünen Chlorophyllkörnerschicht im Wandbeleg gestatten jeden Theil des Inhalts genauer zu beobachten und bei seinen Bewegungen besser zu verfolgen, als wie es selbst in den Blättern möglich war.

Ganz ähnlich wie in den schon besprochenen Organen trifft man auch in den Rhizoiden neben der Wandschicht von Protoplasma und der die Zellstoffbalken umkleidenden Schicht Stränge von Plasma an, welche, der Achse des Organs parallel verlaufend, den Zellsaft durchsetzen.

Das Wandplasma bildet eine die Zellwand von innen auskleidende Schicht von gleichmässiger Dicke, welche gewöhnlich 4 bis 5 μ beträgt, nur an der äussersten Spitze ist sie ein wenig mächtiger; an Rhizoiden aber, welche unter ausserordentlich günstigen Ernährungsbedingungen leben, kann die Spitze, bisweilen über eine Länge von 0.1 mm ganz mit Protoplasma erfüllt sein. Chlorophyllkörner findet man dort nicht oder nur sehr vereinzelt vor. Zahlreiche andere, ungefärbte Körner von sehr verschiedener Grösse treten in jener Plasmaschicht auf, ähnlich wie man solche stets im körnigen Plasma jeder Pflanzenzelle antrifft; die Jodreaction ergiebt, dass die meisten dieser Körner aus Stärke bestehen. Nach der Spitze der Rhizoiden hin treten die grösseren Körner immer spärlicher auf, und an jenen Stellen, wo ausschliesslich das Längenwachsthum

stattfindet, ist die Wand nur von einer, durch zahlreiche kleine Körnchen milchweissen Plasmaschicht bekleidet, ähnlich also wie jene, welche bei den Blättern und Rhizomen beschrieben wurde.

Da in den meisten Rhizoiden die Balken sowie die centralen Stränge bis zu einer gewissen Entfernung von der Spitze fehlen (vergl. z. B. Fig. 3A, Taf. VI), so zeigen jene an dieser Stelle eine grosse Aehnlichkeit mit den Wurzelhaaren höher organisirter Pflanzen, wie z. B. mit denen von Hydrocharis. Diese Aehnlichkeit geht aber nicht weiter, da die Bewegungen im Protoplasma auch an solchen Stellen der Rhizoiden ganz anderer Art sind wie die in den Wurzel haaren, indem in jenen von Caulerpa keine Spur der typischen Rotationsbewegung zu entdecken ist, durch die Hydrocharis sich auszeichnet. Man beobachtet im Gegentheil in den Rhizoiden, dass der grösste Theil des peripheren Protoplasma sich in vollkommener Ruhe befindet, und nur an einzelnen Stellen tritt, in der Wandschicht eingebettet, ein Strömchen hervor, welches der Zellachse parallel verläuft (Fig. 3A), in ähnlicher Weise, wie man es im Wandbeleg der Zellen mit circulirendem Plasma antrifft.

In der etwas mächtigeren Plasmaauskleidung der Spitze habe ich niemals eine regelmässige Strömung beobachten können, obwohl ich sehr viel Mühe darauf verwendete. In vollkommener Ruhe verkehrt aber die Wandschicht dort nicht, sondern die stattfindenden Bewegungen bestehen nur in langsamen Formänderungen der Ansammlung. Die erwähnten Strömchen in der Wandschicht konnte ich niemals bis zur Spitze verfolgen; sie scheinen also nach dieser hin allmählich schwächer zu werden und völlig aufzuhören, bevor sie dieselbe erreicht haben. Ist dieses der Fall, so verhalten sie sich also den centralen Strömen ähnlich, welche in Blättern und Rhizomen bis zu den wachsenden Spitzen vordringen.

Das an andern Stellen des Rhizoids peripher gelagerte Protoplasma zeigt ebenso wenig eine erhebliche Bewegung wie jenes an der Spitze, mit alleiniger Ausnahme von einigen, wenig zahlreichen und schmalen Strömchen, welche in derselben eingebettet liegen. Hauptsächlich findet man solche aber, wie erwähnt, dort wo die centralen Plasmastränge noch nicht aufgetreten sind, also in den jüngsten Theilen, wie z. B. in dem oberen Theil der Fig. 3A, Taf. VI; dort muss also offenbar der Stofftransport von jenen allein

besorgt werden. Ausserdem aber trifft man sie gelegentlich im Wandbeleg an älteren Theilen des Rhizoids an, wie z. B. Fig. 1, Taf. VI angiebt, doch immer steht die Intensität der Bewegung dort sehr gegen jener in den Strängen zurück.

Die Zellstoffbalken, welche in den Rhizoiden alle ungefähr senkrecht zur Achse verlaufen, sind, wie jene in den Blättern und Rhizomen, von einer Schicht Plasma umgeben, doch ist diese hier meistens so dünn, dass es erst bei einer 5—600maligen Vergrösserung (mit Obj. F von Zeiss) gelingt, sie deutlich zu beobachten; in einzelnen Fällen ist sie aber viel mächtiger und dann auch bei schwächerer Vergrösserung bequem zu beobachten, wie z. B. im unteren Theile der erwähnten Fig. 1.

Bevor ich aber in dieser Weise das Vorkommen des Balkenplasma constatirt hatte, war ich schon durch eine andere Beobachtung überzeugt worden, dass eine solche Schicht vorkommen müsse.

Ein kräftiges Rhizoid zeigte nämlich an einer Stelle, etwa 3.25 mm von der Spitze entfernt, einen Balken, zu dessen Mitte ein Protoplasmastrom sich hinzog, welcher von der Wandschicht seinen Ursprung nahm, in der Weise wie es Fig. 4A zeigt. Bei genauer Beobachtung sah ich, dass sich das Ende des Stromes über den Balken hinbewegte, so dass es nach drei Minuten etwa das eine Ende von jenem erreicht hatte (Fig. 4B); dann kehrte es zurück und war nach zwei weiteren Minuten am anderen Ende des Balkens angelangt (Fig. 4C). Zu gleicher Zeit war die Stelle, wo der Strom mit der Wandschicht in Verbindung stand, von einem Wandstrome nach oben mitgeführt, so dass der Strom nur noch einen ganz kurzen Strang darstellte (Fig. 4D). Dann wurde das Stromende noch weiter hinaufgeschoben (Fig. 4E), kehrte jedoch nachher sehr schnell (in drei Secunden) wieder in seine frühere Lage zurück (Fig. 4F), während das andere Ende des Stromes am nämlichen Ende des Balkens haften blieb.

Wenn also ein Protoplasmastrom sich über die Oberfläche eines Balkens fortschieben kann, so muss man wohl annehmen, dass letzterer von einer Plasmaschicht umkleidet ist. Ausserdem sprach für diese Auffassung das Vorkommen und die Bewegung von einem grösseren Körnchen über die Oberfläche des Balkens hin. Jenes blieb stets in der Nähe der Stelle, wo der Strom auf den Balken

endigte, und bewegte sich dementsprechend zuerst hin und bald wieder zurück. Die Bewegung war stets eine sehr langsame, eine Eigenthümlichkeit, welche man ohne Ausnahme bei allen Balken beobachten kann, da die Körnchen, die grösseren sowie auch die kleineren, immer sehr träge und mit wiederholten Ruhepausen sich über den Balken bewegen; öfters auch kommen sie gar nicht von der Stelle. Nur in mächtigeren Plasmaansammlungen ist die Bewegung eine weniger träge.

Die Rhizoiden wachsen an der Spitze, und mit fortschreitendem Wachsthum bilden sich die neuen Balken stets in einiger Entfernung hinter ihr; im Mittel beträgt die Distanz des letzten Balkens von der Spitze etwa 0.15 bis 0.30 mm.

Ist einmal ein Balken gebildet, so tritt bald nachher in seiner Nähe ein zweiter auf, welcher fast immer den ersten kreuzt, ohne mit ihm in Verbindung zu treten. Ein dritter und vierter können dann in ähnlicher Weise an jenen Stellen entstehen. Da nun jedes Mal der neue Balken, welcher unter der Spitze angelegt wird, in einiger Entfernung vom vorigen auftritt (vergl. z. B. Fig. 3 A, Taf. VI), so findet man auch meistens die Balken in kleinen Gruppen beisammenliegen. Solches sieht man auch noch bisweilen an dickeren Rhizoiden, und ähnliches zeigt auch unsere Fig. 1, Taf. VI[1]).

Nicht nur in den erwähnten Figuren 1 und 3, sondern ausserdem in einigen anderen, hier nicht wiedergegebenen Zeichnungen war die mittlere Entfernung je zweier Balkengruppen annähernd die gleiche und beträgt in Wirklichkeit etwa 0.1 mm, so dass dabei also eine gewisse Gesetzmässigkeit zu herrschen scheint. Verzweigte Balken treten in den jüngeren Theilen der Rhizoiden nur selten auf, doch in den älteren kommen sie häufig vor.

An jenen Stellen nun, wo zwei oder mehrere Balken beisammenliegen treten oft, doch nicht immer, die sie bekleidenden Plasmaschichten unter sich in Verbindung, und so entsteht dort vielfach eine mehr oder weniger erhebliche Ansammlung von Protoplasma,

---

1) Bei *a* in letzterer Figur sieht man zwei Balken an gegenüberliegenden Wandstellen entspringen. Auch diese kreuzen sich, doch dass dieses nicht so zu sein scheint, rührt her von der Richtung, in der beide gesehen werden; auch di [illegible] also zusammen eine solche Balkengruppe.

wie z. B. der untere Theil von Fig. 1 eine solche sehr deutlich zeigt. Zwischen diesen Anhäufungen, welche natürlich in der Nähe der Achse des Rhizoids liegen, sind nun meistens die in Längsrichtung verlaufenden, centralen Plasmastränge ausgespannt, während das Balkenplasma, und fast ausschliesslich dieses, die Communication zwischen den Strängen und dem Wandplasma vermittelt.

In den jüngeren, dünneren Theilen der Rhizoiden können diese Stränge über eine relativ bedeutende Strecke verlaufen, ohne mit naheliegenden Balken in Verbindung zu treten, wie z. B. der dünnere Strom in der Mitte von Fig. 1. In den dickeren Theilen dagegen, wo die Zahl der centralen Ströme bisweilen eine geringere ist, wogegen diese dann stets an Mächtigkeit gewonnen haben, sieht man sie öfters an in der Längsrichtung verlaufende Balken angeschmiegt, welche letzteren jedesmal zwei benachbarte Balkengruppen verbinden. Derartige Balken, welche öfters ein wenig gebogen sind und der Achse des Rhizoids ungefähr parallel verlaufen, trifft man in den dünneren Rhizoiden niemals an; sie treten somit erst nachträglich beim Dickerwerden dieser Organe auf.

Zwischen dem zuletzt entstandenen Balken und der Spitze des Rhizoids beobachtet man fast niemals die centralen Ströme, die an anderen Stellen so häufig sind; Fig. 3A stellt somit den Fall dar, welcher am allgemeinsten vorzukommen scheint. Ohne Ausnahme ist aber auch diese Regel nicht, und Fig. 2A repräsentirt z. B. eine solche, indem hier ein langer dünner Strom von dem letzten Balken in gerader Linie zur Spitze des Rhizoids geht, und sich dort in einige kurze Zweige auflöst. Das Plasma war an dieser Spitze in fortwährender Bewegung begriffen, und daher wechselte die Form der Plasmaansammlung und die Verzweigung der Ströme fortwährend; dieses geht auch aus der Fig. 2B hervor, welche die Spitze des nämlichen Rhizoids darstellt, etwa 50 Minuten nachdem die Figur 2A angefertigt war. Da in diesem Falle also die Bewegung des Plasma bis zur Spitze des Organs zu verfolgen war, so konnte constatirt werden, dass selbst hier die Art der Strömung mit einer Rotationsbewegung nichts gemein hat.

Central gelagerte Ströme, welche über eine gewisse Entfernung der Achse des Organs parallel verlaufen, sieht man bisweilen allmählich dem Wandplasma näher treten und schliesslich mit letzterem

verschmelzen. Die Bewegung setzt sich dann in diesem fort und in der Weise gehen also die centralen Ströme in solche über, welche im Wandplasma eingebettet liegen. Die Form des Rhizoids scheint aber vielfach die Veranlassung zu solchen Erscheinungen zu bilden, da man sie am häufigsten an jenen Stellen antrifft, wo das Organ mehr oder weniger scharfe Krümmungen zeigt.

In der Fig. 1 sowie auch in Fig. 3A kann man ein solches Verhalten der Ströme beobachten, doch am deutlichsten tritt es in der Fig. 2A hervor; in letzterer ist die Biegung an einer Stelle so stark, dass der Strom, welcher vom Wandplasma ausgeht und der Achse des Organs parallel läuft, zwar auf den nächsten Balken stösst, doch dort zu gleicher Zeit auf die periphere Plasmaschicht daneben trifft und daher keine Gelegenheit erlangt, zu einem vollkommen centralen Strom zu werden. Gleich oberhalb jener Stelle findet mit dem nämlichen Strange Aehnliches noch einmal statt.

Bisweilen beobachtet man auch Ströme, welche zwei einander fast gegenüberliegende Punkte im Wandbeleg unter sich verbinden, sowie kleinere Stränge, welche aus dieser Wandschicht heraustreten und in schiefer Richtung zur Achse sich zu einem Balken hinziehen, um auf diesem zu endigen. Beide Fälle trifft man in den dünneren Theilen der Rhizoiden an, und ersterer mag wohl ausschliesslich dort zwischen der Spitze und den jüngsten Balken vorkommen; einen solchen Strom beobachtet man z. B. in der Fig. 3A, doch deutlicher und zu gleicher Zeit complicirter treten diese in der Fig. 5A hervor, welche einen ziemlich seltenen Fall darstellt. Dort sieht man an drei Stellen Plasmastränge, alle in geringer Entfernung unterhalb der Spitze, welche das Rhizoid von einer Seite zur anderen durchsetzen; dass jene Stränge in fortwährender Verschiebung begriffen waren, geht aus den Figuren 5A' und 5B—5I hervor. Die schon oben besprochene Fig. 4 repräsentirt den zweiten der soeben erwähnten Fälle, in welchem ein kurzer Strang bei seiner Ankunft auf einen Balken aufhört.

Die Plasmastränge, welche also in grosser Zahl den Zellsaft durchsetzen, sind nicht nur von verschiedener Dicke, doch wechselt diese meistens auch in jedem einzelnen Strome sehr erheblich, indem sie stets in der Mitte am dünnsten sind, um beiderseits bei den Balkengruppen, also nach den Plasmaanhäufungen hin, zwischen

welchen sie ausgespannt sind, breiter zu werden. An den sehr mächtigen Strömen ist dieser Unterschied kaum bemerkbar, doch um so deutlicher tritt er an den dünneren hervor, wie es besonders Fig. 1 sehr deutlich zeigt.

An den dickeren Theilen der Stränge sieht man, dass diese fast völlig aus körnigem Plasma bestehen, denn ebenso wenig wie an den Circulationsströmen, welche in anderen Zellen den Zellsaft durchsetzen, kann man auch hier die Vacuolenwand beobachten, von welcher man annehmen muss, dass sie überall das körnige Plasma von der Zellflüssigkeit getrennt hält. Die dünneren Abschnitte der Ströme hingegen scheinen fast nur aus hyalinem Plasma zu bestehen, auf denen also nur wenige Körnchen sichtbar sind.

Solche hyaline Ströme findet man z. B. in den Figuren 1, 2 und 3A angegeben, und diese treten auch sonst in allen Rhizoiden sehr häufig auf.

Ohne Mühe gelingt es in allen den erwähnten Plasmasträngen, eine intensive Bewegung zu beobachten, indem man fortwährend zahlreiche grössere und kleinere Körner in den Strömen mit regelmässiger Geschwindigkeit sich fortbewegen sieht. Gleich wie bei der Besprechung der Plasmaströmungen im Blatte erwähnt wurde, dass man in jedem Strange die Bewegungen in entgegengesetzten Richtungen beobachten kann, wenn sie auch nicht immer gleichzeitig vorhanden sind, so gilt Aehnliches für die Ströme in den Rhizoiden. Selbst in den dünnsten, vollkommen hyalinen Theilen der Stränge lässt sich dieses wahrnehmen und selbst an solchen sieht man nicht selten grosse Körner zu gleicher Zeit die einen in der einen und die andern in der entgegengesetzten Richtung sich fortschieben. Diese Körner, welche entweder aus Stärke bestehen oder auch hierher verirrte Chlorophyllkörner sind, kommen in den Rhizoiden nicht zahlreich vor, aber immerhin häufig genug um stets einige derer auf jedem Strome in Bewegung zu sehen. Der Durchmesser jener Körner ist öfters so gross, dass er die Dicke der hyalinen Ströme um einige Male übertrifft, so dass es scheint, als wenn jener über diese sehr dünnen Stränge sich bewegt, obwohl man annehmen muss, dass auch die Körner noch durch die Vacuolenwand von dem Zellsaft abgegrenzt sind und jene sich also innerhalb einer allseitig geschlossenen Hülle bewegen.

Wenn zwei grössere Körner sich auf einem dünnen Strome in entgegengesetzter Richtung bewegen und sie begegnen sich, so geschieht es wohl einzelne Male, dass der erste vom zweiten mitgeführt wird und also wieder den früheren Weg zurücklegt. Meistens behalten aber beide ihre ursprüngliche Bewegungsrichtung bei, doch dann müssen sie an einander vorbeigehen und sich also ausweichen; auf einem äusserst dünnen hyalinen Strom ist das für grosse Körner keine leichte Sache. Einmal beobachtete ich zwei solche grosse Stärkekörner, welche unter den obigen Umständen verkehrten; beide bewegten sich ausserdem auf der nach oben gewendeten Seite des Stromes. Als die Körner sich sehr nahe gekommen waren, wurde ihre Bewegung eine etwas langsamere und als sie sich fast berührten, drehte das eine Korn sich an dem Strang herum, so dass es auf dessen untere Seite gelangte. Durch diese Bewegung war jetzt für beide der Weg frei geworden, und nahmen sie daher ihre Bewegung in der früheren Richtung wieder auf.

In den Figuren 1, 2A und 3A sind die an einem bestimmten Momente beobachteten Stromrichtungen durch kleine Pfeile neben den Strängen angegeben, sowie auch neben jenen Stellen, wo in der Wandschicht eine regelmässige Bewegung beobachtet wurde. Wurde diese letztere Strömung an den oberen oder unteren Theilen der Wand gesehen, dann habe ich in den Figuren die Breite dieser Strombahnen durch ein paar parallele Striche angegeben, wie z. B. im oberen und unteren Theile von Fig. 3A.

Die Geschwindigkeiten, welche an verschiedenen centralen Strömen gemessen wurden, stimmen vollkommen zu jenen Zahlen, welche an den Blättern und an dem Rhizome erhalten wurden. Bei sechs Messungen, jedesmal an verschiedenen Strängen, beobachtete ich Geschwindigkeiten von 200, 185, 180, 175 und 165 μ pro Minute.

Die Art der Bewegung im Rhizoid stimmt also vollkommen überein mit jener, welche schon für die Blätter und Rhizome beschrieben wurde. Indem dort an einigen Stellen Ströme auftreten, welche im Wandplasma eingebettet liegen, nähert die Bewegung sich hier einigermaassen der centralen Circulation, wie solche z. B. in den Zellen der Staubfädenhaare von Tradescantia vorkommt. Das Hauptmerkmal von Circulation und auch von Rotation, dass

die Bewegung bis zum Ende der Zelle ungeschwächt fortgeht und der Querwand entlangströmt, um in ähnlicher Weise zurückzukehren, sucht man aber auch bei den Rhizoiden von Caulerpa vergebens.

Eine energische Massenbewegung vom Inhalt der Rhizoiden beobachtet man ausschliesslich, wenn durch irgend eine Ursache eine Verletzung eingetreten ist. Die elastische Zusammenziehung der vom Turgor gedehnten Wände vom Blatte sowie vom Rhizome und Rhizoid presst dann den Zellsaft in der Richtung zur Wunde hin, während dieser öfters kräftige Strom vielfach die centralen Ströme sowie die Plasmaanhäufungen an den Balken zerreisst und alles zur verwundeten Stelle mit sich schleppt.

V.

Entstehung der Zellstoffbalken.

Seit dem ersten Auffinden der Zellstoffbalken bei den verschiedenen Caulerpa-Arten haben die meisten der späteren Forscher ihre Meinung über die Entstehungsweise jener Gebilde geäussert.

In seiner Abhandlung über Caulerpa prolifera, welche Zeugniss ablegt von einem eingehenden Studium unserer Pflanze, sagt Nägeli [1]) über obigen Gegenstand: „Diese Fasern haben in ihrem ersten Auftreten grosse Aehnlichkeit mit den Schleimfäden, welche in anderen Algenzellen als Saftströmung vorhanden sind. Sie gleichen denselben, weil sie ebenfalls dünn und farblos sich zeigen." Nachträglich fügt er aber hinzu: „Ueber die Entstehungsweise der Fasern konnte ich nichts Näheres beobachten."

Dass die Balken von den Plasmasträngen gebildet würden, sagt er also nicht, obwohl er dieses ihrer gegenseitigen Aehnlichkeit wegen wohl wird vermuthet haben, wie es auch Schacht [2]) hervorhebt.

Derbès und Solier [3]), welche zwar lebende Exemplare von

---

1) Caulerpa prolifera, in Zeitschr. für wiss. Botanik, von Schleiden und Nägeli, 1844, Bd. I, Heft 1, p. 145, 146.

2) Die Pflanzenzelle, 1852, p. 27.

3) Annales des sciences naturelles, 1850, 3. Série, T. XIV, p. 265.

Caulerpa untersuchten, doch wie es scheint nur wenig eingehend, sprachen die Meinung aus, dass die Balken entstehen als nach innen gerichtete Haare, welche sich allmählich verlängern und verzweigen. Die Beobachtungen, auf welche sie ihre Meinung stützen, werden aber nicht beschrieben, so dass eine Beurtheilung der Wahrscheinlichkeit dieser Aussage nicht möglich ist.

Da aber alle genaueren Wahrnehmungen mit dieser Auffassung vollkommen in Streit sind, braucht sie hier nicht weiter besprochen zu werden. Ausserdem aber lassen Derbès und Solier die Ursache der Bildung der Fasern gänzlich ausser Betrachtung.

Schacht musste sich bei seinen Studien mit aufgeweichten Exemplaren von Caulerpa begnügen; er vermuthet, dass die Fasern von den Plasmafäden gebildet werden, und gründet seine Meinung hauptsächlich in der Analogie mit den Resultaten seiner Untersuchungen über den Bau und die Entstehung von dem Netzwerk aus Zellstofffasern, welche er in einer Aussackung im vorderen Theil des Embryosackes von Pedicularis silvatica nach dessen Befruchtung auffand [1]). In dieser Abhandlung, sowie auch in zwei späteren [2]), hebt Schacht hervor, dass in allen diesen Fällen die Balken wahrscheinlich in und durch die Plasmastränge gebildet werden und stützt sich dabei für Caulerpa zunächst auf die von Nägeli hervorgehobene Aehnlichkeit zwischen Plasmaströmen und jungen Balken. Ausserdem lehrten ihm seine Beobachtungen an Pedicularis, dass in frühen Entwickelungsstadien an den erwähnten Stellen eine sehr lebhafte und complicirte Protoplasmaströmung (Schacht nannte diese noch Saftströmung) vor sich geht, doch dass man an älteren Objecten die aus Zellstoff bestehenden Fasern wahrnimmt, welche „farblos, durchsichtig und stielrund sind, vielfach und unregelmässig verzweigt und mit den Nachbarfäden mannigfach verbunden, genau so wie vormals die Fäden der Saftströmung erschienen".

Bei seinen Studien über die Bildung des Embryo bei den

---

1) Entwickelungsgeschichte des Pflanzenembryos. Verhandel. van het koninkl. Nederl. Instituut van Wetenschappen enz. te Amsterdam, 1850, 3e Reeks, Deel 2, p. 111.

2) Pflanzenzelle, p. 26—27, 161, 339—340; und besonders: Ueber die Zellstofffäden in der vorderen Aussackung des Embryosackes von Pedicularis silvatica, Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Botanik, 1863, Bd. III, p. 341—342.

Phanerogamen hatte Hofmeister[1]) noch einige weitere Pflanzen entdeckt, bei denen sich Zellstofffasern in ähnlichen Aussackungen des Embryosackes entwickelten und dadurch mit jenen von Pedicularis auffallend übereinstimmten. Vollkommen wie bei dieser Pflanze scheinen die Balken sich bei einigen Plantago-Arten, z. B. bei Pl. lanceolata zu verhalten, während Veronica triphyllos zwar eine gleiche Anordnung der Balken zeigt, diese aber von weicherer Consistenz sind. Specielle Untersuchungen über die Art ihrer Entstehung scheint Hofmeister nicht angestellt zu haben, doch weist er mit wenigen Worten die Annahme Schacht's zurück, indem er sagt[2]): „Das Netz von Protoplasmaströmen, welches in der jungen Ausstülpung sich findet, ist ein ziemlich einfaches. Seine Verästelungen haben keine Aehnlichkeit mit den reichen Auszweigungen des Systems anastomosirender Zellhautstoffbalken, weder in der Natur, noch in den treuen Abbildungen Schacht's. Die Anordnung des Protoplasma in strömende Stränge verschwindet zudem längere Zeit vor dem ersten Sichtbarwerden der Fasern.“ In welcher Weise man sich dann aber die Bildung dieser Balken denken soll, giebt Hofmeister nicht an.

Berthold[3]) und Noll[4]) nehmen auch ihre directe Entstehung aus dem Protoplasma an, obwohl Beweise für diese Meinung nicht angegeben werden.

Noll erwähnt ausserdem das Vorkommen ähnlicher, nicht geschichteter, balkenartiger Cellulosefasern bei „Derbesia-Individuen, welche in ihrer normalen Entwickelung gestört worden sind. Diese Balken treten zunächst als Protoplasmastränge auf, die sich langsam in die ersteren umwandeln“.

Obwohl jetzt eine andere Auffassung über die Entstehungsweise der Balken kaum zu bestehen scheint, so beruht diese aber hauptsächlich, wo nicht ausschliesslich auf Vermuthung, sowie auf die

1) Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen, I. Dicotylen, Abhandl. der math. phys. Classe der kön. Sächs. Ges. der Wiss., 1859, Bd. IV, p. 620.

2) Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867, p. 181.

3) Studien über Protoplasmamechanik, 1886, Cap. VIII.

4) Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembran, Abhandl. Senkenb. Naturf.-Ges., 1887, Bd. XV, Heft 1, p. 151.

äussere Aehnlichkeit der dünnen Plasmaströme mit den jungen Balken, ohne dass aber ihr causaler Zusammenhang durch weitere Beobachtungen wahrscheinlich gemacht ist.

Bei meinen Studien der Protoplasmabewegung von Caulerpa prolifera war ich besonders bemüht zu versuchen, die Bildungsweise der Balken durch neue Wahrnehmungen festzustellen. In Folgendem werde ich die vornehmsten dieser beschreiben nach meinen Notizen, welche während der Beobachtungen bei meinem ersten Aufenthalt in Neapel gemacht wurden. Damals war ich mit der Literatur über diesen Gegenstand nur oberflächlich bekannt, und meine Wahrnehmungen können also von den Erfahrungen früherer Forscher gar nicht beeinflusst sein. Für alle die folgenden Beobachtungen haben mir die Rhizoiden gedient, weil die Blätter und Rhizome zu solchen genaueren Beobachtungen vollkommen unbrauchbar waren.

Beim Anfang meiner Studien galt es zunächst zu untersuchen, ob alle Balken, besonders aber ob die jüngeren immer von einer Plasmaschicht eingehüllt sind.

Bevor ich diese Schicht an den älteren Balken in Blättern und Rhizomen gesehen hatte, war es mir schon gelungen, mich in indirecter Weise von der Existenz einer solchen an den jüngeren Balken der Rhizoiden zu überzeugen, zw. in der oben (p. 245) beschriebenen Weise durch die Beobachtung des Verschiebens von einem Ende eines Plasmastromes über einen Balken hin (vergl. auch Fig. 4A—F, Taf. VI). Die langsame Bewegung, welche bisweilen an kleinen Körnchen auch auf anderen Balken zu constatiren war, steigerte die Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit einer solchen Plasmaschicht. Erst nachher gelang es mir sie überall direct wahrzunehmen, an den jüngeren Balken aber erst mit Hülfe von stärkerer Vergrösserung und zwar mittelst Objectiv F von Zeiss; die Schicht war an jenen feinen Balken stets eine sehr dünne und enthielt nur äusserst wenige und sehr winzige Körnchen, obwohl auch letztere nicht selten gänzlich zu fehlen schienen.

Jeder Balken zeigte sich also von Protoplasma umgeben. Ob aber auch jeder Strom einen Balken einschliesst, war die jetzt zu lösende Frage.

Wenn man die jüngeren Theile der Rhizoide an jenen Stellen

beobachtet, wo nur noch einzelne Balken vorhanden sind von jeder Gruppe, welche sich nachher an jenen Stellen ausbildet (vergl. p. 246), so bemerkt man oft in ihrer Nähe einen oder auch mehrere Stränge von Protoplasma, welche ganz hyalin aussehen. Diese durchsetzen entweder das Rhizoid in querer Richtung, ohne also mit den Balken in Verbindung zu treten, oder auch sie verlaufen von einem solchen zur Zellwand; in Fig. 3A beim unteren der drei Balken bemerkt man einzelne solcher Strömchen. Es ist oft sehr schwierig zu entscheiden, ob ein dergleicher hyaliner Strang nur aus Protoplasma besteht, oder ob er in seinem Innern noch einen Zellstoffbalken versteckt hält. Nur bei Anwendung starker Vergrösserung gelingt es dann in der Mitte einiger eine äusserst feine Linie zu entdecken, welche von der Anwesenheit eines Balkens herrührt. In zweifelhaften Fällen, und diese sind nicht selten, ist man genöthigt andere Mittel zur Entscheidung anzuwenden, wie z. B. solche Reagenzen, welche das Protoplasma zum Absterben bringen.

Auch die Richtung, in welcher ein Strang durch das Rhizoid verläuft, giebt nicht die geringste sichere Auskunft über das Vorhandensein oder das Fehlen eines Balkens. Es kommt daher nicht selten vor, dass man bei genauer Beobachtung oder auch durch Anwendung von Reagenzen wider Erwartung in einen hyalinen Strang einen Balken eingeschlossen findet, während man andererseits öfters in einem Strömchen einen dünnen Balken erwartet, ohne dass sich nachher eine Spur eines solchen auffinden lässt.

Dass die Aehnlichkeit zwischen den dünnen hyalinen Plasmaströmen und den jungen Balken sehr gross ist, wie schon Nägeli betonte, fand ich daher hinlänglich bestätigt.

Eine solche Aehnlichkeit legt also den Gedanken der Bildung aller Balken in und durch jene Plasmastränge sehr nahe. Sie wird aber sehr wahrscheinlich durch den soeben betonten Umstand, dass in den Rhizoiden sich zwar Protoplasmaströme, und selbst vollkommen hyaline wahrnehmen liessen, ohne dass diese einen Balken einschlossen, während hingegen Balken ohne umhüllende Plasmaschicht stets fehlten, nicht nur in den Rhizoiden, sondern ausserdem in den Blättern und Rhizomen.

Wie müssen wir uns aber die Entstehung der Balken innerhalb der Stränge denken?

Diese Frage wurde schon von **Nägeli**[1]) discutirt; er schreibt: Ueber die Entstehungsweise der Fasern „lassen sich zwei Ansichten aufstellen: entweder dass sie von der Membran aus nach innen wachsen, oder dass sie gleich auf einmal angelegt werden. Letzteres scheint mir das Wahrscheinlichere, besonders deswegen, weil es keine freie Fasern giebt, welche als stehengebliebene Entwickelungsstufen eine ungleichzeitige Anlage der Theile einer Faser nachweisen".

Eine dritte Möglichkeit, dass die Balken mitten im Strome, also ganz frei angelegt werden, sich dann verlängern und schliesslich an der Wand festsetzen, wird nicht besprochen, wahrscheinlich weil **Nägeli** diese von vornherein verwerfen musste, aus der nämlichen Ursache, warum er die erstere der Annahmen abweist.

Die simultane Ausbildung der Faser schien **Nägeli** die einzig mögliche Erklärung der beobachteten Thatsachen zu liefern.

Trotzdem dieses plötzliche Auftreten eines Balkens in seiner ganzen Länge an sich etwas unwahrscheinliches hat, würde obige Annahme vielleicht genügen, wenn man wirklich niemals Balken anträfe, welche noch nicht mit der Zellwand in Verbindung getreten sind. **Nägeli** hat solche nicht gesehen, thatsächlich kommen sie aber vor, obwohl sie selten sind und es nicht leicht ist sie aufzufinden.

Nachdem ich aber durch einen glücklichen Zufall einen solchen gesehen hatte, gelang es mir nachher bei emsigem Suchen an zahlreichen Rhizoiden noch mehrere solcher wahrzunehmen.

Die folgende Wahrnehmung zeigte mir zuerst, dass es vielleicht möglich wäre, in den Rhizoiden junge Balken aufzufinden, so jung, dass sie noch nicht mit der Zellwand in Verbindung getreten waren.

In einem völlig gesunden Rhizoid war das Protoplasma in den Strömen, welche der Achse des Organs parallel verliefen, in kräftiger Bewegung. An einer Stelle befanden sich drei Balken nahe beisammen, alle ungefähr senkrecht zur Achse gerichtet, ohne sich aber gegenseitig zu berühren, während die sie umgebenden Plasmaschichten hingegen verschmolzen waren und zusammen eine Anhäufung bildeten, auf welche der einzige centrale Strom endigte.

Nachdem ich die Bewegung während einiger Zeit verfolgt hatte,

---

1) l. c. p. 146.

wurde am Rande des Deckglases, welches das noch immer mit der unverletzten Pflanze in Verbindung stehende Rhizoid bedeckte, ein Tropfen Alkohol zugesetzt; demzufolge fing das Protoplasma an zu sterben. Da der Tod des Protoplasma an den betreffenden Stellen das Rhizoid für den Zellsaft permeabel macht, so rief die elastische Zusammenziehung der durch Turgor ausgedehnten Blätter u. s. w. im Zellsafte eine Massenbewegung hervor, welche auch abgerissene Theile vom todten Plasma mitschleppte. Als nun auch das Plasma an den drei erwähnten Balken gestorben war und der strömende Zellsaft an ihnen vorbeiging, zeigten zwei dieser keine Bewegung; der dritte aber, welcher zuvor völlig gerade war, wurde vom Strome gebogen, in der Weise, dass das eine Ende an Ort und Stelle blieb, während das andere einen Bogen von etwa 60° beschrieb und dann wieder in seine ursprüngliche Lage zurückkehrte; das nämliche Biegen und Sichgeradestrecken wiederholte sich bald nachher noch einmal. Die Dicke dieses Balkens betrug nur etwa 0.5 μ, während die Zellwand an dieser Stelle des Rhizoids ungefähr doppelt so dick war. Zahlreiche andere Balken, welche nicht dicker, und auch solche, welche noch dünner waren wie der beschriebene, zeigten keine Spur von Bewegung unter dem Einfluss des strömenden Zellsaftes, auch nicht als nachher an der einen Seite mit einer Nadel sanft auf das Deckglas gedrückt wurde; es gerieth dabei ausschliesslich das eine Ende des erwähnten Balkens in Bewegung. Selbst bei Anwendung eines stets kräftigeren Druckes gelang es mir nicht, einen Balken ganz oder auch nur einerseits frei zu machen von der Zellwand, mit der er zuvor verbunden war. Die Kraft des Stromes war also offenbar auch viel zu schwach, einen Balken von der Wand loszureissen; der besprochene Balken konnte also auch vor dem Tode des Rhizoids nur einerseits mit der Wand verwachsen gewesen sein.

Obwohl diese Beobachtung wohl kaum anders zu deuten ist, durfte ich mich nicht mit dieser einzigen Wahrnehmung begnügen, wenn ich beweisen wollte, dass die Balken ganz frei von der Zellwand angelegt werden. Ich setzte daher meine auf diesen Punkt gerichteten Untersuchungen fort und war so glücklich, nach vielem Suchen das Gewünschte zu beobachten.

Es wurde schon oben (p. 255) erwähnt, dass man nicht selten

innerhalb hyaliner Plasmaströme, bei Anwendung stärkerer Vergrösserung, eine sehr feine dunkle Linie verlaufen sieht, welche von einem sehr jungen, dünnen Balken herrührt. Als ich nun gerade einen solchen Strom beobachtete, während die Plasmabewegung in den benachbarten, dickeren Strängen eine sehr energische war, fing das Plasma an, durch eine mir unbekannt gebliebene Ursache veranlasst, allmählich abzusterben. Dieses schritt sehr langsam im Rhizoid vor, in der Richtung von der Basis nach der Spitze hin. Anstatt zu erstarren oder sich in unregelmässiger Weise zusammenzuziehen, ballte sich das Plasma dabei zunächst zu einer Anzahl grösserer und kleinerer Kugeln zusammen, welche sich dabei von der Zellwand befreiten. Aus dem Plasma des hyalinen Stromes entstanden in dieser Weise vier kleine Kugeln, zwischen welchen der zuvor ganz umhüllte, äusserst dünne Balken jetzt stellenweise deutlich sichtbar wurde; dann lösten sich diese Kugeln gänzlich vom Balken los. Bald befreite sich auch dieser an den Enden vom abgestorbenen Wandplasma und gerieth in Bewegung, doch weil er dabei frei im Zellsafte zu liegen kam, wurde er sogleich vom strömenden Zellsafte fortgerissen. Die Dicke des Balkens mag kaum mehr als 0.2 μ betragen haben.

Aus diesen Beobachtungen ging also hervor, dass der hyaline Plasmastrom einen Balken einschloss, welcher noch ganz frei von der Zellwand war.

Was mir jetzt ein glücklicher Zufall gezeigt hatte, versuchte ich nachher nochmals wahrzunehmen und sorgte dabei, den Umständen, welche bei der vorigen Beobachtung geherrscht hatten, so viel wie möglich nachzuahmen. Ich suchte nämlich in allen völlig gesunden Rhizoiden, in denen sich kräftige Protoplasmabewegung zeigte, nach hyalinen, ungefähr quer zur Zellachse verlaufenden Strängen, in deren Innern eine sehr feine dunkle Linie wahrnehmbar war. Hatte ich einen solchen Strom aufgefunden, so wurde das Plasma in einer oder anderer Weise getödtet, z. B. durch Anwendung von Alkohol, um den Balken von der umhüllenden Plasmaschicht zu befreien.

Nur einzelne Male gelang es mir in dieser Weise, auch das Plasma zum Zusammenballen zu bringen, und dann war es immer wieder ganz deutlich, dass die so auf dem Balken entstandenen Kugeln nur von der ihm zuvor egal umgebenden Plasmaschicht her-

rührten. Bei den vielen Versuchen, zu welchen natürlich jedesmal eine neue, unverletzte Pflanze benutzt werden musste, wurde bei der Beobachtung des Rhizoids während der weiteren Behandlung stets nur ein einziger Balken in's Auge gefasst, und zwar der, von welchem ich meinte, dass er mir ein günstiges Resultat liefern würde. Von jeder ganzen Pflanze konnte also nur das Verhalten von einem einzigen Balken beobachtet werden.

In bei weitem den meisten Fällen zeigte es sich aber, dass die so ausgewählten Balken beiderseits mit der Zellwand verwachsen waren, so dass das erwartete Resultat völlig ausblieb, obwohl diese Balken öfters kaum dicker waren wie jener zuvor erwähnte, welcher von der Zellwand ganz frei war. Einzelne Male gelang es dann aber durch einseitigen gelinden Druck auf das Deckglas zu zeigen, dass andere Balken im nämlichen Rhizoid nur mit dem einen Ende mit der Wand verwachsen waren.

Ausserdem gelang es mir aber in einzelnen Fällen nochmals das oben erwähnte, äusserst günstige Resultat zu erhalten und also vollkommen freie Balken zu beobachten.

In einem dieser Versuche, welchen ich hier allein näher beschreiben will, befand sich ein hyaliner Strom mit eingehülltem, feinem Streifen in gekreuzter Lage neben zwei älteren Balken, so dass sich an diesen drei in ihrer Mitte eine sehr deutlich wahrnehmbare Plasmaportion angesammelt hatte. Als nun das Plasma getödtet wurde und der Zellsaft dabei in Strömung gerieth, machte sich der äusserst dünne Balken an beiden Enden aus dem Wandbeleg frei und drehte sich unter dem Einfluss der Strömung langsam in der Weise, dass er schliesslich der Achse des Rhizoids parallel lag; währenddem blieb er aber noch immer in der Plasmaanhäufung stecken. Dann ballte sich auch dort das Plasma zusammen und machte sich von Zellwand und Balken frei. Der noch stets strömende Zellsaft riss nun den feinen Balken aus der Anhäufung heraus und dann mit sich weiter fort in das Rhizoid hinein. Ueber eine grössere Strecke konnte ich jenen dann im Strome verfolgen; er blieb stets völlig gerade, wie es besonders an gebogenen Stellen im Rhizoid oder auch beim Passiren anderer Körper deutlich hervortrat.

Bei genauer Beobachtung und stärkerer Vergrösserung gelingt

es auch, obwohl nicht häufig, im Zellsafte von einem vor einigen Augenblicken abgestorbenen Rhizoide ähnliche freie, äusserst dünne Balken vereinzelt aufzufinden, deren Herkunft nach den oben beschriebenen Wahrnehmungen kaum zweifelhaft sein kann.

Aus diesen Beobachtungen meine ich schliessen zu dürfen, nicht nur dass wirklich die Balken innerhalb der hyalinen Plasmastränge entstehen, sondern ausserdem, dass sie zunächst ganz frei von der Zellwand gebildet werden und erst später mit dieser in Verbindung treten. Von zufälligen Nebenumständen wird es dann wohl abhängen, ob beide Enden des Balkens zu gleicher Zeit, oder ob eins nach dem andern mit der Zellwand verwächst; die relativ grosse Seltenheit der freien Balken deutet aber hin auf ein sehr schnelles Wachsthum derselben in die Länge, nachdem diese einmal angelegt sind.

In Bezug auf das Entstehen der Balken ausschliesslich innerhalb hyaliner Plasmastränge möchte ich hier auf eine grosse Aehnlichkeit deuten, welche zwischen den Resultaten besteht, die Crüger[1]) und Dippel[2]) bei ihren Studien der Wandverdickungen vieler Zellen erhielten (wie der Velamenzellen der Orchideenwurzeln, der jungen Gefässzellen, der Schleuderzellen der Lebermoose u. s. w.) und meine Beobachtungen an Caulerpa-Rhizoiden.

Beide genannten Untersucher fanden unabhängig von einander, aber in vollster Uebereinstimmung, dass stets die Protoplasmaströme die primäre Ursache jener Verdickungen darstellen und dabei nahmen sie wahr, erstens: dass stets der hyaline Theil des Protoplasma, also die Hautschicht, während der Zellstoffablagerung sehr an Mächtigkeit zunahm, und zweitens: dass zu gleicher Zeit nur äusserst winzige Körnchen sich in jenen Strömen bewegten. Beide Forscher beobachteten also in der Wandschicht vollkommen das Nämliche, welches ich an den hyalinen Strömen sah, in denen die Balken entweder schon aufgetreten waren, oder doch wenigstens bald erwartet werden konnten.

---

1) West-Indische Fragmente, IV: Zur Entwickelungsgeschichte der Zellenwand, Bot. Ztg. 1855, Sp. 601, 617.

2) Die Entstehung der wandständigen Protoplasmaströmchen in den Pflanzenzellen u. s. w., Abhandl. der Naturf.-Ges. Halle, 1864, Bd. X, p. 55—65.

In welcher Weise entstehen die Balken innerhalb der Ströme? Zeigen sich dabei analoge Erscheinungen, wie bei der Ablagerung neuer Celluloseschichten an der Zellwand?

Da die Erscheinungen, welche die Rhizoiden darbieten, wenn man sie mit plasmolysirenden Lösungen behandelt, für die Antwort auf obige Fragen von Wichtigkeit sind, so wünsche ich jene hier zuerst zu besprechen.

Wenn man das Rhizoid einer unverletzten Pflanze mit einer plasmolysirenden Kalisalpeter- oder Zuckerlösung (in Meereswasser) in Berührung bringt, so beobachtet man auch hier, dass das Protoplasma sich von der Wand zurückzieht; dieses findet aber in unregelmässiger Weise statt, so dass jenes an einzelnen Stellen der Zellwand noch lange haften bleibt. An den Punkten, wo Balken mit ihr verbunden sind, sieht man diese alsdann zum Theil aus dem contrahirten Plasmaschlauch hervorragen, dort also nicht mehr umhüllt von der Plasmaschicht, welche sie früher umgab (vergl. Fig. 3B, Taf. VI). Bald nachdem die Plasmolyse soweit vorgeschritten ist, sieht man um viele der Balken herum eine linsenförmige Figur auftreten, doppelt contourirt, vollkommen in der Weise wie der von der Zellwand zurückgezogene Wandbeleg (vergl. die beiden oberen Balken in Fig. 3B); bisweilen treten an einem einzelnen Balken auch wohl zwei solcher Linsen neben einander auf. Durch genauere Beobachtung liess sich constatiren, dass jene Figuren von der Plasmaschicht hervorgerufen werden, welche den Balken umgab, weil diese sich auch hier nicht an allen Stellen zugleich vom Balken freimacht wenn die Plasmolyse die Volumverkleinerung des Zellsaftes hervorruft, ebensowenig wie dieses an der Zellwand stattfindet. Schreitet die plasmolytische Zusammenziehung noch weiter fort, so verschwinden schliesslich die Linsen wieder, nämlich sobald sich die Plasmaschicht an allen Stellen vom Balken abgehoben hat.

Jene Bildung der linsenförmigen Figuren um die Zellstofffäden kann man in den jüngeren Theilen der Rhizoiden nicht selten beobachten, doch treten diese nicht an solchen auf, bei denen das Abheben des Plasma an allen Stellen zu gleicher Zeit vor sich geht, ebensowenig wie dort, wo dieses gar nicht stattfindet; letzteres war z. B. der Fall beim unteren Balken in der Fig. 3B. Ob das eine oder

das andere eintritt, scheint mit zufälligen Umständen zusammenzuhängen; die Dicke der Balken ist dabei aber ohne Einfluss, da ich das Abheben wahrnahm sowohl an dicken Balken wie auch an den dünnsten, die ich beobachten konnte, und welche nur etwa 0.2 μ dick waren.

Aus bald zu erwähnenden Gründen wäre es mir sehr erwünscht gewesen, die beschriebene linsenförmige Abhebung des Protoplasma auch an solchen Balken zu beobachten, welche sich nachher als ganz frei herausstellen würden. Von vornherein schien es mir aber schon unwahrscheinlich, dass mir solches gelingen würde, da gerade die unveränderliche Lage der Balken mir eine Bedingung für das Zustandekommen der Figuren zu sein schien. Dennoch habe ich zahlreiche Male sorgfältig versucht, sie an freien Balken wahrzunehmen, doch immer vergebens. Bei diesen Versuchen fand ich stets entweder, dass der Balken mit der Zellwand verwachsen war, wenn die Plasmolyse die linsenförmige Abhebung hervorrief, oder, falls die letztere nicht auftrat, war entweder auch dann der Balken mit der Wand verbunden, oder, was nur gar selten stattfand, es zeigte sich der Balken frei von der Wand zu sein.

Wenn man nun das Verhalten des plasmatischen Wandbelegs zur Zellwand vergleicht mit jenem der umhüllenden Plasmaschicht zu den Zellstoffbalken, so ersieht man, dass zwischen diesen eine vollkommene Aehnlichkeit besteht. Hieraus lässt sich mit Wahrscheinlichkeit entnehmen, dass auch die Grenzschicht in beiden Fällen die nämliche sein wird, und dass es also auch ein Theil Hautschicht sein wird, welche dem Balken direct anliegt. Diese Hautschicht, welche die äussere Bekleidung des Protoplasten darstellt, würde sich daher bei Caulerpa ohne Unterbrechung über alle Balken fortsetzen und also überall das Körnerplasma nach aussen hin begrenzen und es von den Zellstoffbildungen trennen, in der nämlichen Weise wie die Vacuolenwand dieses Körnerplasma an allen Stellen vom Zellsafte gesondert hält.

Eine solche Vorstellung stimmt vollkommen zu unseren heutigen Kenntnissen über den Bau und die Function des Protoplasten und seiner Organe. Da die Vacuolenwand sowie die Hautschicht die Permeabilitätseigenschaften vom Protoplasten

reguliren [1]), so ist es nothwendig dass das Körnerplasma, in welchem sich bekanntlich der Hauptchemismus der Zelle sowie der Haupttransport der Producte abspielt, überall vollkommen abgegrenzt ist sowohl vom Zellsafte wie auch vom umgebenden Medium. Die erstere Trennung wird von der Vacuolenwand hervorgerufen, und so soll in ähnlicher Weise die Hautschicht die äussere, vorwiegend physiologische Grenze bilden und bildet diese auch wirklich in allen jenen Zellen, bei welchen Cellulosebildungen innerhalb des Lumens fehlen. Denn weil die aus Cellulose bestehenden Theile sehr viel mehr permeabel sind wie die Hautschicht, und ausserdem weil jene nicht im Stande sind eine physiologische Wahl auszuüben auf die Stoffe, mit welchen sie in Berührung kommen, so würde an den Balken, falls diese nicht von Hautschicht umkleidet waren, das Körnerplasma in fast directem Verkehr mit dem umgebenden Medium treten und dieses also jede unabhängige Wirkung des Protoplasma unmöglich machen.

Da man berechtigt ist anzunehmen, dass die Function der Zellstoffbildung der Hautschicht auferlegt ist, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass diese Schicht erst dann um den Balken auftritt, nachdem diese sich an der Zellwand festgesetzt haben. Vielmehr muss man annehmen, dass Hautschicht schon da war, bevor die ersten Cellulosemolecüle frei von der Wand abgelagert wurden zur Bildung des neuen Balkens.

Ist dieses wirklich der Fall, so darf man weiter schliessen, dass die Plasmastränge von Caulerpa, innerhalb deren sich die Zellstoffbalken bilden oder gebildet haben (und das Nämliche muss auch für die erwähnten Fäden bei Pedicularis u. s. w. gelten), aus Körnerplasma bestehen, welches von einem Theile der Vacuolenwand umgeben ist und einen Theil der Hautschicht des Protoplasten in sich einschliesst. So lange der Balken noch nicht aufgetreten ist, muss letztere einen soliden Strang bilden, um nachher, sobald der Balken angelegt ist, in eine allseits geschlossene Schicht überzugehen.

---

1) Vergl. de Vries, Plasmolytische Studien über die Wand der Vacuolen, Jahrb. f. wiss. Bot., 1885, Bd. XVI, p. 540 ff.; und Janse, Die Permeabilität des Protoplasma, Versl. en Meded. der kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam, Afd. Natuurkunde, 1888, 3de Reeks, Dl. IV, p. 332.

In den Fällen, in denen keine Celluloseablagerung innerhalb der Ströme stattfindet, wie solche in allen Zellen mit circulirendem Plasma vorkommen und auch bei Caulerpa zahlreich sind, hat man keinen Grund auch dort das Vorkommen der Hautschicht in jenen Strömen anzunehmen.

Die Entstehungsweise neuer Circulationsströme beschreibt Hofmeister mit den folgenden Worten[1]): „Wenn solche Ströme gebildet werden sollen, so treten sie zunächst als kurze Hervorragungen der dickeren Streifen des Wandbelegs oder bereits vorhandener Stränge auf. Sie bestehen zunächst nur aus hyaliner Substanz, erst nachdem sie eine gewisse Länge erreichten, tritt auch ein Theil des körnigen Plasma in sie ein. Dann verlängern sie sich, bis sie an der gegenüberliegenden Seite der Zelle auf die Plasmaschicht oder auch auf einen andern Strang stossen, und nachdem dieses geschehen ist, verschmelzen die gleichartigen Theile mit einander."

Die Bildung neuer Ströme habe ich bei Caulerpa leider niemals beobachten können, doch ist es nicht zweifelhaft, dass sie in ähnlicher Weise vor sich geht, wie durch obige Beschreibung angegeben wird; zu dieser braucht man nur hinzuzufügen, dass, nachdem das Körnerplasma in die zuvor hyaline Ausstülpung eingetreten ist, dieses nachher in ähnlicher Weise von der Hautschicht gefolgt wird, und dass bei Berührung des Auswuchses mit dem Protoplasma an der gegenüberliegenden Seite der Zellwand auch die im Strange sich vorfindende Hautschicht mit der des Wandbelegs verschmilzt. Es scheint hierbei nicht nothwendig zu sein, dass die Hautschicht sogleich nach dem Körnerplasma in den Strang eintritt, es kann dieses auch nachher zu jeder Zeit stattfinden, doch würde die Anlage des Balkens erst dann möglich sein, nachdem jenes Eindringen der Hautschicht stattgefunden hat.

Es würde vielleicht möglich sein, auch bei Caulerpa das Eindringen der Hautschicht im jungen Strome direct zu beobachten, ebensowohl wie dieses am körnigen Plasma anderer Zellen gelingt, wenn nicht die äusserste, bisweilen kaum messbare Feinheit jener die Wahrnehmung, wo nicht völlig unmöglich, dann doch allerdings so schwierig machte, dass ein glücklicher Erfolg kaum zu hoffen ist.

---

1) Die Pflanzenzelle, 1867, p. 45.

Ein so entstandener Plasmastrom soll daher aus einem soliden Strange Hautschicht bestehen, umlagert von einer Schicht des Körnerplasma und dieses gegen die Zellflüssigkeit durch Vacuolenwand vollständig abgegrenzt.

Innerhalb jenes Hautschichtstranges soll nun die erste Anlage des Balkens stattfinden. Dieser würde, nach meiner Vorstellung, zuerst als ein sehr feiner, kurzer Streifen auftreten, etwa wie eine einzelne Reihe von Cellulosemolecülen. Diese wächst durch weitere Ablagerung neuer Molecüle in die Dicke, doch hauptsächlich in die Länge, bis der junge Balken so lang geworden ist, dass er mit der Zellwand in Berührung tritt, sei es zuerst an einer Seite oder an beiden zu gleicher Zeit. Eine später sich ablagernde Celluloseschicht wird dann die Zellwand von innen bekleiden, doch wird sie sich zu gleicher Zeit ununterbrochen über die Oberfläche der bis jetzt noch freien Balken hin fortsetzen. Durch diese und die nachfolgenden, gemeinsamen Schichten werden die Balken dann mit der Wand verbunden, und dieser Verband wird also durch die Ablagerungen stets neuer Schichten immer kräftiger. Je nachdem die Balken früher oder später entstanden sind, wird man sie also mehr oder minder weit mit kegelförmigem Ende in die Zellwand vordringen sehen.

Das Eindringen der Hautschicht in die Plasmaströme konnte, wie ich hervorhob, bisher nicht durch directe Wahrnehmungen constatirt werden. Die Annahme, dass dieses wirklich stattfinden muss, beruht auf der Ueberzeugung, dass die Hautschicht eins der Organe vom Protoplasten darstellt, welches den übrigen (Kern, Farbstoffkörper und Amyloplaste, Vacuolenwand, Körnerplasma u. s. w.)[1]) vollkommen gleichwerthig ist, und dass daher auch die Hautschicht alle diejenigen Eigenschaften besitzt, welche den übrigen Organen gemeinschaftlich zukommen.

Eine erstere jener Eigenschaften ist die, dass jedem der Organe im Protoplasten die Ausübung einer bestimmten und genau umschriebenen Function auferlegt ist, so dass, wenigstens in den Zellen der höher entwickelten Pflanzen, ein Organ die Stelle von einem anderen nicht zu vertreten vermag. Für viele der bekannten Functionen kann man jetzt schon die betreffenden Organe anzeigen, doch die

1) Vergl. de Vries, Vacuolenwand, p. 489 ff.

Vorstellung vom allgemeinen Vorkommen von einem besonderen, von den anderen unabhängigen Organ zur Zellhautbildung wurde erst vor kurzer Zeit scharf hervorgehoben. Die hyaline Aussenschicht eines jeden Protoplasten war aber schon längst bekannt, und Pringsheim hatte diese schon im Jahre 1854 mit dem noch jetzt gebräuchlichen Namen „Hautschicht“ belegt, während die Resultate der Untersuchungen von Crüger und Dippel[1]) über das Zustandekommen der Zellwandverdickungen einen innigen Zusammenhang zwischen diesen und der Hautschicht deutlich angezeigt hatten.

Die Ansprüche der Hautschicht auf die Anerkennung als besonderes Organ eines jeden Protoplasten, welches den übrigen vollkommen gleichwerthig ist, wurde zuerst von de Vries[2]) discutirt. Dabei wurde gezeigt, dass der Hautschicht (obwohl sie bis jetzt nur äusserst selten[3]) vom Körnerplasma getrennt beobachtet wurde) ohne Zweifel eine selbstständige Natur im Protoplasten zugesagt werden muss und dass sie, und nur sie, im Stande ist die Bildung neuer Cellulosemolecüle zu besorgen.

Nimmt man nun dieses als für alle Zellen geltend an, so werden nicht nur die Zellwand und deren Verdickungsschichten[4]) von der Hautschicht abgelagert, sondern so wird man auch wohl alle übrigen Zellstoffbildungen an scharf umschriebenen Stellen der Wand innerhalb der Zelle, wie z. B. die Warzen in den Wurzelhaaren von Marchantia, die Leisten in den Parenchymzellen der Pinus-Nadeln und in der Epidermis vieler Blumenblätter, an ihrer Wirkung zuschreiben müssen.

Auf Caulerpa, sowie für Pedicularis u. s. w. würde dieser Schluss dann aber mit gleichem Rechte anzuwenden sein, da die für sie typischen Zellstoffbalken Wucherungen an der Innenseite der Zellwand darstellen, welche sich nur durch ihre grössere Länge von den genannten Cellulosebildungen unterscheiden.

---

1) Vergl. p. 260.

2) Vergl. Vacuolenwand, p. 493 ff., sowie „Intracellulare Pangenesis“ vom nämlichen Autor, wo die Frage nach der Autonomie der Hautschicht in einem besonderen Abschnitt eingehend besprochen wird.

3) Vergl. de Vries, l. c. p. 492; Janse, Permeabilität des Protoplasma, p. 390 und Fig. 9. Beide Beobachtungen wurden an Spirogyra gemacht.

4) Vergl. die oben (p. 260) citirten Resultate der Untersuchungen von Crüger und Dippel.

Dass die Balken nur innerhalb solcher Ströme gebildet werden, welche von hyaliner Beschaffenheit sind, stimmt ausserdem vollkommen zu den erwähnten Beobachtungen von Crüger und von Dippel, und diese Uebereinstimmung deutet auch ihrerseits wieder darauf hin, dass die innerste Schicht des Balkenplasma wahrscheinlich aus Hautschicht besteht, gerade wie die an die Zellwand grenzende äusserste Schicht des Protoplasten.

Doch wenn man auch die Ursache von der Bildung der Zellstoffbalken in der Hautschicht sucht, so würde dieses allein uns nicht zwingen zur Annahme des Eindringens von dieser in die Plasmastränge hinein. Dieser Vermuthung wird aber erstens durch die Wahrnehmungen Hofmeister's über die Entstehung neuer Circulationsströme grosse Wahrscheinlichkeit ertheilt, doch ausserdem würde sich jene Annahme vom Eindringen der Hautschicht nur umgehen lassen durch die Hypothese, dass andere Theile vom Protoplasten im Stande wären, an entblössten Stellen neue Hautschicht zu produciren, und wenn also die die Balken umkleidende Hautschicht z. B. aus dem an jener Stelle vorkommenden Körnerplasma ihren Ursprung nehmen könne. Diese Hypothese ist aber sehr unwahrscheinlich, und zwar weil sich in diesem Falle die Hautschicht gänzlich den übrigen Organen entgegengesetzt verhalten würde. Die genaueren Untersuchungen über die Entstehung der letzteren haben nämlich alle übereinstimmend gezeigt, dass jeder Kern, jeder Chromo- sowie jeder Amyloplast immer nur durch Theilung aus einem andern, ähnlichen Organ entstehen kann, während dieses in letzterer Zeit noch ausführlicher für die Vacuolenwand dargethan wurde[1]).

Diese vollkommen übereinstimmenden Resultate erlauben also jetzt wohl den Schluss, dass diese Eigenschaft der ausschliesslichen Vermehrung durch Theilung der erwähnten Plasmaorgane auch für ein anderes, gleichwerthiges Organ Gültigkeit haben wird, auch ohne dass dieses bis jetzt für dasselbe in allen Fällen bewiesen wurde.

Bisher wurde ziemlich allgemein ein gerade entgegengesetztes Verhalten der Hautschicht angenommen, indem man meinte, dass das Protoplasma im Stande war an jeder beliebigen Stelle, wo es

---

1) Went, Die Vermehrung der normalen Vacuolen durch Theilung, Jahrb. f. wiss. Bot., 1888, Bd. XIX, p. 295—356.

mit dem umgebenden Medium in Berührung kam, eine neue Hautschicht zu bilden; dabei stützte man sich auf einige anscheinlich genau untersuchte Fälle. Keine der neueren Untersuchungen konnte aber auch nur eines jener Beispiele von Neubildung der Hautschicht bestätigen, so dass bisher keine einzige Beobachtung bekannt ist, in der man die Erscheinungen nur durch Neubildung erklären kann. Am längsten schien die Bildung der neuen Scheidenwand zwischen zwei sich theilende Zellen (die mit deutlich centripetaler Bildung der Wand, wie Spirogyra u. A. ausgenommen) für diese Ansicht zu sprechen. Man hegte nämlich die Ansicht, dass nach stattgefundener Kerntheilung die neue Membran in der Zellplatte angelegt wurde (also bevor diese noch den Wandbeleg berührt hatte), zunächst ganz frei von der Wand, und dass sie erst nachher mit dieser verbunden wurde. Vor kurzer Zeit hat aber Went[1]) gezeigt, dass die sogenannte „Zellplatte" keine Platte, sondern ein aus kurzen Stäbchen gebildeter Ring ist, der sich allmählich ausbreitet, bis er von allen Seiten mit dem Wandbeleg in Contact getreten ist. Mit dieser Beobachtung fällt auch die Meinung von der Bildung der neuen Membran in der Zellplatte. Auch in diesem Falle besteht daher noch die Möglichkeit, dass die neue Theilwand erst entsteht, nachdem von aussen her die Hautschicht als eine Falte zwischen den beiden jungen Kernen eingedrungen ist, also ähnlich, wie es oben für die Plasmastränge von Caulerpa angenommen wurde.

Vorher (p. 172) erwähnte ich, dass ich mir viel Mühe gegeben habe bei Plasmolyse der Rhizoiden die linsenförmige Abhebung des Protoplasma an noch freien Balken zu sehen. Ich that dieses, weil ich meinte, dass es vielleicht in der Weise gelingen würde, das Vorhandensein der Hautschicht in den Strängen zu constatiren, bevor sich der Balken festgesetzt hatte. Diese Versuche gelangen aber nicht, wahrscheinlich aus den schon oben angeführten Ursachen.

Da es aber dennoch wahrscheinlich ist, dass die meisten Plasmastränge bei Caulerpa einen Theil der Hautschicht enthalten, und diese letztere wohl niemals neu gebildet wird, so muss man annehmen, dass sie bei der Bildung der die Vacuole durchsetzenden Ströme

---

1) Beobachtungen über Kern- und Zelltheilung, Ber. d. deutsch. bot. Ges., 1887, Bd. V, p. 247—258.

dem Beispiel des Körnerplasma folgt, und von aussen her in die Mitte von dieser eindringt, bis sie schliesslich mit der Hautschicht an der gegenüberliegenden Seite der Zelle verschmilzt.

Meine Beobachtungen über das Vorkommen freier Balken können nur auf das zunächst ganz freie, von der Zellwand unabhängige Auftreten jener innerhalb der Plasmastränge deuten, sowie auf ihre nachträgliche Verbindung mit der Zellwand durch spätere gemeinsame Celluloseschichten.

VI.

Bedeutung der Zellstoffbalken.

Die Zellstoffbalken, welche in den vorigen Abschnitten zu wiederholten Malen besprochen wurden und von welchen wir sahen, dass sie als Stützen dienten für die centralen Protoplasmaströme, stellen sehr eigenthümliche Gebilde dar, weil sie ihres Gleichen nur in vereinzelten Fällen haben, und zwar ausschliesslich bei solchen Pflanzen und bei diesen an solchen Stellen vorkommen, welche nicht die geringste Verwandtschaft mit Caulerpa haben (vergl. p. 171 u. 172). Es kann daher wohl kein Wunder nehmen, dass man auch versucht hat zu erklären, wozu diese Balken beim Leben der Pflanze dienen, und warum unter allen einzelligen Süsswasser- und Meeresgewächsen gerade nur Caulerpa solche Zellstofffäden zeigt.

Aus der Besprechung der Plasmaströmung bei unserer Pflanze geht hervor, dass die Zellstoffbalken ihr von sehr wesentlichem Nutzen sind, indem sie die örtliche Trennung von dem Plasmatheile, welcher offenbar zum Nahrungstransport dient, vom Wandbeleg möglich macht. Ich meine aber, dass diese nicht die Hauptfunction der Balken ist.

Die regelmässige Orientirung der Balken in den Blättern, welche alle fast ohne Ausnahme senkrecht auf beiden Blattoberflächen stehen, schien so deutlich darauf hinzudeuten, dass die Balken den Zweck hatten die beiden Blattflächen aus einander zu halten, und also um zu verhindern, dass sie durch den Druck des Meereswassers an einander gepresst wurden, dass diese Meinung schon von jeher

gehegt wurde und es kaum nothwendig schien, diese Ansicht näher zu prüfen.

Erst vor Kurzem hat Noll[1]) zum ersten Male einige experimentelle Untersuchungen über die Function jener Zellstoffbalken angestellt. Zuerst aber zeigte er, dass die Meinung, welche man bisher allgemein hegte, eine falsche war, weil die ziemlich weichen Balken in den Blättern unmöglich jenen mechanischen Zweck, also zum Auseinanderhalten der beiden Blattflächen, erfüllen können. Er stützt sich dabei hauptsächlich auf die Beobachtungen, dass die Blätter in turgescentem Zustande äusserst biegsam sind, und dass sie auch in Meereswasser collabiren, wenn sie ihren Turgor verloren haben.

Durch specielle Versuche mit Berliner Blau, Jodium und Osmiumsäure versuchte Noll dann zu zeigen, dass die Balken dazu dienen den Stoffaustausch zwischen dem Blattinnern und dem Medium zu erleichtern; er beobachtete nämlich, dass jene Substanzen in der nämlichen Zeit über eine grössere Strecke vordringen, wenn sie sich in einem Balken fortbewegen, als wenn sie auf dem Plasma neben den Balken stossen und dann in diesen weiter diffundiren müssen.

Noll fügt aber hinzu, dass es ihm nicht gelungen ist, ein Verfahren ausfindig zu machen, dass unzweideutige Resultate lieferte, doch meint er, dennoch zu dem Schlusse berechtigt zu sein (l. c. p. 462), „dass die Fasern leicht passirbare Bahnen für den Stoffaustausch bilden, während derselbe durch das Plasma hindurch viel schwieriger sich vollzieht".

Da Noll also selber seine Resultate nicht unzweideutig nennt, kann ich mich hier auf die Bemerkung beschränken, dass auch ich meine, dass seine Versuche den obigen Satz nicht bewiesen haben; die Frage nach der Function der Zellstofffasern bei Caulerpa ist also auch jetzt noch eine offene.

Es wurde schon oben hervorgehoben, dass die Organe von Caulerpa während ihres Lebens und besonders beim Wachsthum durch die Turgorkraft eine starke Dehnung erfahren haben, welche an den äussersten wachsenden Spitzen nicht selten mehr wie 30 %

---

1) Ueber die Function der Zellstofffasern von Caulerpa prolifera. Arbeiten a. d. bot. Institut zu Würzburg, Bd. III, 1888, p. 459—465.

betragen kann. Wie gross die Turgorkraft ist, lässt sich an Caulerpa schwerlich in directer Weise bestimmen. Wenn man aber beachtet, dass de Vries die Turgorkraft der Mehrzahl der Zellen aus verschiedenen Geweben von Landpflanzen auf 4.5—6 Atm. bestimmt[1]), die von Spirogyra, also von einer Süsswasserpflanze, etwa 4.5, und die von Chaetomorpha, einer Meeresalge, welche in Neapel von mir untersucht wurde, etwa 4 Atm. beträgt[2]), und alle Pflanzen also unabhängig vom Medium, in dem sie leben, ungefähr die nämliche Turgorkraft zu besitzen scheinen, so darf man wohl annehmen, dass auch die Turgorkraft von Caulerpa nur wenig von 4 Atm. abweichen wird[3]).

Welche Form würden die Caulerpa-Blätter annehmen, wenn ihnen die Zellstoffbalken fehlten, während ihre Turgorkraft, wie jetzt der Fall ist, etwa 4 Atm. beträge? Würden die beiden Blattflächen, welche jetzt eine einander vollkommen parallele Lage haben, auch dann noch einander parallel bleiben?

Es leuchtet wohl sofort ein, dass die Form der Blätter unter solchen Umständen eine ganz andere werden würde, und zwar würden die Blattflächen aus einander gedrängt werden und sich, zu-

---

1) Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Jahrb. f. wiss. Botanik, 1884, Bd. XIV, p. 556. An dieser Stelle giebt de Vries an, dass der Salpeterwerth jener Zellen isotonisch ist mit 0.16—20 Aeq. KNO_3; 0.1 Aeq. KNO_3 = etwa 3 Atm.

2) Vergl. meine Abhandlung: Die Permeabilität des Protoplasma. Verslagen en Mededeelingen der kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam, Afd. Natuurkunde, 3e Reeks. Dl. IV, 1888, p. 314. Der Salpeterwerth des Zellsaftes von Spirogyra war 0.15 KNO_3 in Süsswasser, der von Chaetomorpha 0.14 Aeq. KNO_3 in Meereswasser.

3) Man könnte bei dieser Zahl in Betracht ziehen, dass Caulerpa immer mehrere (1—15) Meter unter der Meeresoberfläche lebt und daher von aussen einem grösseren Druck wie 1 Atm. ausgesetzt ist. Wenn der Mehrbetrag des Salpeterwerthes vom Zellsafte von Caulerpa über den des Meereswassers wirklich, wie oben angenommen wurde, etwa 0.14 Aeq. beträgt, und die nominale Turgorkraft also etwa 4 Atm. sein würde, so sollte diese Zahl vermindert werden mit dem Druck, welchen das Wasser in der Tiefe ausübt, wo Caulerpa wächst. Wahrscheinlich ist es mir aber, dass die Turgorkraft einer Wasserpflanze immer ungefähr die gleiche ist, in welcher Tiefe sie auch wächst. Wäre dieses nicht der Fall, so würden die Meerespflanzen, welche in einer grösseren Tiefe wie etwa 40 m leben, keine Turgescenz haben. Auf die Kenntniss des genauen Druckes kommt es aber hier nicht an, weil die sehr grosse Turgorausdehnung wachsender Organe ohnehin schon auf eine nicht geringe Turgorkraft schliessen lässt.

mal in der Blattmitte, weit von einander entfernen. Der Querschnitt würde dann etwa die Form einer stark biconvexen Linse annehmen.

Die Caulerpa-Pflanze würde aber in weit ungünstigeren Lebensbedingungen verkehren, wenn die Blätter eine solche Form hätten, hauptsächlich weil solche straffe, etwa cylinderförmige, hohle Röhren, welchen jede innere Stütze völlig abgeht, nur sehr wenig geeignet sein würden, den oft starken Bewegungen im Wasser nachzugeben, und dadurch also viel mehr zahlreichen Schädigungen ausgesetzt sein würden, wie die dünnen, höchst biegsamen Blätter, welche Caulerpa jetzt zeigt.

Hieraus geht nun hervor, welche, meiner Ansicht nach, die Function der Zellstoffbalken bei Caulerpa sein muss; denn anstatt dass sie die Aufgabe haben, die Blattseiten von einander entfernt zu halten, wie man früher meinte, sollen sie im Gegentheil verhindern, dass die beiden Oberflächen durch die Turgorkraft von einander entfernt werden.

Ich habe meine obige Meinung durch Versuche geprüft und fand dabei, dass die Resultate in vollkommenem Einklang mit ihr waren. Diese Experimente beruhten auf der Erwägung, dass, wenn man in einem Blatte an einer Stelle alle Balken durchschneidet, jenes am nämlichen Orte nachher eine sehr deutliche Erhebung zeigen muss.

Die Versuchsanstellung war höchst einfach; kräftige, nicht zu dünne Blätter wurden ausgewählt und in diese eine kleine Lancette zwischen den beiden Blattoberflächen eingeführt und durch Seitwärtsbewegung dieser so viele Balken im Blatte durchschnitten, wie möglich war. Es wurde dadurch natürlich eine Wunde in einer der Blattoberflächen verursacht, welche die Breite der Lancette hatte (2 mm); andere Verwundungen wurden gelegentlich dabei auch hervorgerufen, doch nur diejenigen Blätter wurden nachher beachtet, an denen keine weitere Verletzung stattgefunden hatte. Mit einiger Uebung gelang es mir aber bald in verschiedenen Blättern die Lancette etwa 10 mm weit einzuführen, so dass über jene Strecke alle Balken durchgeschnitten wurden.

Als nach zwei Tagen die Wunde völlig geheilt war, zeigten die Blätter an jenen Stellen linsenförmige Verdickungen, welche an

beiden Seiten des Blattes gleich viel hervortraten. Die Erhebung war eine sehr ausgesprochene, denn während z. B. in einem Falle das Blatt (9 cm lang und 1.5 cm breit) neben der Verletzung 0.2 mm dick war, maass die linsenförmige Erhebung nicht weniger als 1.8 mm in der Dicke. An der Stelle, wo die Balken durchschnitten waren, hatte sich die Blattdicke also bis auf das Neunfache gesteigert. Aehnliche Resultate ergaben die übrigen Blätter.

Aus diesen Versuchen geht also wohl ohne Zweifel hervor, dass die Blätter unter dem Einflusse der Turgorkraft eine ganz andere Form annehmen würden, wenn die Zellstoffbalken fehlten.

Dergleichen stellenweise Erhebungen, wie sie auf den Blättern durch die obige Behandlung hervorgerufen wurden, kommen auch an übrigens vollkommen normalen Pflanzen vor, obwohl nur äusserst selten. Wakker[1]) hat ihrer schon erwähnt, und auch ich habe deren etwa fünf beobachten können im Winter 1886—1887 unter den Hunderten von Blättern, welche ich fast jeden Tag besah.

Wakker beschreibt sie als Anschwellungen von verschiedener Gestalt und Grösse, welche eine sehr ungleiche Stelle auf dem Blatte einnehmen, weil sie bald an der Spitze oder in deren Nähe vorkommen, bald auch ganz an der Basis sich zeigen. Sie sind meistens von mehr oder weniger ovaler Form, höchstens 14 mm lang und 9 mm breit; sie zeigen keine egal grüne Farbe, sind aber meistens mit abwechselnd gelben und grünen Ringen versehen; Wakker meinte, dass sie vielleicht mit einer noch unbekannten Fortpflanzungsart in Verbindung standen. Auch nach andauernder Cultur in Meereswasser zeigten sie aber gar keine Veränderung.

Meiner Meinung nach sind diese Gebilde von pathologischer Art und entstehen in folgender Weise. Wenn die Turgorkraft im Blatte die beiden Blattseiten mit so grosser Kraft aus einander zu drängen versucht, dass die Elasticitätsgrenze der gedehnten Organe überschritten wird, so muss entweder die Zellwand nachgeben, und dann entsteht eine Wunde, aus welcher dann das Plasma in der

---

1) Die Neubildungen an abgeschnittenen Blättern von Caulerpa prolifera, Versl. en Meded. d. kon. Akad. Amsterdam, Afd. Natuurkunde, 3e Reeks, Dl. II, 1886, p. 262.

gewöhnlichen Weise hervortritt[1]), oder es müssen an einer gewissen Stelle die Balken zerrissen werden. In letzterem Falle treten also spontan die nämlichen Bedingungen auf, wie sie in den soeben beschriebenen Versuchen künstlich hervorgerufen wurden. Der Erfolg ist dann der nämliche, z. w. dass das Blatt genau an jener Stelle eine im Querschnitt linsenförmige Erhebung zeigt, welche an beiden Seiten des Blattes in gleichem Maasse hervortritt. Zu dieser Erklärung stimmt vollkommen die Angabe, welche Wakker über den anatomischen Bau dieser Blasen machte. Er sagt nämlich, dass man auf Querschnitten an gehärtetem Material Folgendes sieht: „Die Zellwand der Blattlamina setzt sich ununterbrochen über die Anschwellung fort, aber die bekannten Zellstoffbalken behalten ihre gewöhnliche Länge und reichen also mit freien Enden nur eine kleine Strecke in die Anschwellung hinein."

Auch die Angaben von Wakker über die Farbe, welche jene Anschwellungen zeigten, deuten darauf hin, dass sie abnormale Gebilde darstellen; an allen Stellen nämlich, wo eine Caulerpa-Pflanze eine gelbe Farbe zeigt, rührt diese her von dem Verschluss einer Wunde. Meistens beobachtet man diese nun zwar, wenn zu gleicher Zeit die Zellwand verletzt ist, also bei äusseren Wunden, aber in vollkommen ähnlicher Weise tritt diese auf, wenn nur die centralen Stränge zerrissen wurden. Aehnliche unregelmässig vertheilte, gelbe und grüne Farben, wie jene Anschwellungen sie zeigen, kann man nämlich an jedem Blatte hervorrufen, wenn man ein Caulerpa-Blatt an verschiedenen Stellen zu gleicher Zeit scharf faltet, oder noch besser, wenn man es an einer Stelle stark zwischen die Fingerspitzen presst. In letzterem Falle tritt an jener Stelle ein weisser Ring auf, und bald nachher an der Innenseite dieser eine feine, gelbe Linie, welche ihrerseits eine unregelmässige fleckig-grüne Stelle einschliesst. Der weisse Ring verschwindet nachher, weil das Blatt dort seine frühere Farbe wieder annimmt, indem die Chlorophyllkörner wieder auf die Ströme zurückkehren; alles andere bleibt aber vollkommen unverändert (vergl. p. 216).

1) Vergl. hierzu Abschn. I, p. 171 und Gardiner l. c. p. 82, sowie die Angaben von Noll, Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembran, Abh. Senkenb. Ges., Bd. XV, 1887, p. 126.

Die Angaben von Wakker stimmen also vollkommen zu meiner Erklärung, und auch die von ihm erwähnte eigenthümliche Färbung jener Gebilde deutet darauf hin, dass im Innern des Plasma die Stränge an jener Stelle grösstentheils zerrissen sind.

Wenn aber wirklich die Balken da sind, um die beiden Seiten des Blattes beisammen zu halten und also um zu sorgen, dass diese nicht durch die Turgorkraft von einander entfernt werden, so müssen jene Balken, da sie ziemlich weiche Gebilde darstellen, auch nothwendig durch diese fortwährende Zerrung eine passive Ausdehnung erfahren.

Dass dieses der Fall sein muss, geht auch daraus hervor, dass im Rhizoid zum Beispiel, bei welchem der Vorgang am besten zu verfolgen ist, die grössere Mehrzahl der quer zur Achse verlaufenden Balken in der Nähe der Spitze gebildet werden, also an jener Stelle, wo die Rhizoiden eine nur noch geringe Dicke besitzen. Wenn nun nachher jene in die Dicke wachsen, zerreissen diese Balken nicht, und daraus allein geht schon hervor, dass sie dabei in die Länge gedehnt werden müssen. In wie hohem Maasse dieses der Fall ist, geht aus den folgenden Zahlen hervor, welche den Durchmesser eines Rhizoids in der Folge von der Spitze zur Basis angeben an Stellen, von welchen jede etwa 0.46 mm weiter von der Spitze entfernt ist wie die vorige:

32, 37, 37, 37, 42, 47, 60, —, 65, —, 149 μ[1]).

An der Spitze maass das Rhizoid 32 μ im Durchmesser; die totale Länge, in welcher die Dicke gemessen wurde, betrug also $10 \times 0.46 = 4.6$ mm.

Beim Längenzuwachs von diesem Rhizoid mit 4.6 mm waren die Balken also von 37 auf 149 μ gedehnt worden, also auf nicht weniger wie auf das Vierfache ihrer ursprünglichen Länge.

An der Stelle, wo das erwähnte Rhizoid z. B. 149 μ maass, waren die Balken aber nicht im Ganzen auf das Vierfache ihrer Länge gedehnt, weil jene während des Längenwachsthums des Rhizoids stets dicker werden durch die fortwährend um sie herum abgelagerten Zellstoffschichten. Daher ist also nur die innerste Schicht, oder

1) An den Stellen der Querstriche wurde die Dicke nicht gemessen; die Zahlen beiderseits von diesen wurden also an Stellen erhalten, welche zweimal 0.46 mm aus einander lagen.

besser, der Kern des Balkens um soviel gedehnt, während die übrigen Schichten eine um so geringere passive Verlängerung erfahren haben, je später sie abgelagert worden sind.

Aus vollkommen den nämlichen Ursachen muss Aehnliches stattfinden mit den Balken im Blatte und im Rhizome.

Wenn die Balken im lebenden Organe ausgedehnt sind, muss sich dieses zeigen durch ihre entsprechende Verkürzung beim Absterben. Wenn ausserdem die inneren Schichten der Balken mehr gedehnt sind wie die äusseren, so müssen jene auch eine nachträgliche Verkürzung erfahren, wenn man sie von den übrigen unabhängig macht.

Diese beiden Folgerungen habe ich experimentell geprüft, um so in directer Weise zu erfahren, ob wirklich die Balken in den wachsenden Pflanzen einer fortwährenden Ausdehnung ausgesetzt sind.

Die Ausdehnung der Balken durch den Turgor der lebenden Pflanzen habe ich nur an jenen sehr schmalen Blättchen bestimmt, welche oben (p. 169, vergl. Fig. 9, Taf. VI) beschrieben wurden; die der Blattfläche parallele Lage der Balken stellt einen nothwendigen Umstand für genaue Bestimmungen der Verkürzung dar, doch dieser ist nur in jenen schmalen Blättern genügend verwirklicht. Normal geformte Blätter konnten natürlich nicht benutzt werden, weil in diesen alle Balken gerade senkrecht zur Blattfläche stehen und also nur im optischen Durchschnitt betrachtet werden können. Auch die Rhizoiden zeigten sich mir als ein für Messungen ungünstiges Material. Ueberhaupt kommt es hier aber nicht auf die Wahl der Organe an, denn wenn die Balken in einem Blatte ausgedehnt werden durch den Turgor, so wird dieses auch wohl in den anderen, sowie im Rhizome und im Rhizoide stattfinden.

Die Methode war die, dass von einer unverletzten Pflanze ein Blättchen unter das Deckglas gelegt und seine Breite gemessen wurde an einer bestimmten Stelle, wo sich gerade ein Balken befand. Dann wurde ein Tropfen Jodlösung am Deckglasrande zugesetzt und nachher wieder mehrmals die Breite gemessen, bis keine Verkürzung mehr eintrat.

Die an den genannten Blättchen gewonnenen Resultate sind folgende:

Ein Balken hatte im lebenden Blatte eine Länge von 205 μ, nach dem Sterben verkürzte dieser sich um 18.5 %.

Ein zweiter, 120 μ lang, verkürzte sich um 11 %. Dieser befand sich ursprünglich in einer Distanz von 276 μ von der Spitze des Blättchens; diese Entfernung hatte sich, wie aus einer zweiten Messung hervorging, durch den Turgorverlust um 9 % verkürzt.

Ein dritter Balken befand sich in demjenigen Blatte, dessen Spitze Fig. 9, Taf. VI gezeichnet wurde, und zwar 80 μ (in der Zeichnung also etwa 10 mm) hinter der Spitze. Jener Balken hatte ursprünglich eine Länge von 95 μ und verkürzte sich nach dem Absterben des Organs um 7 %.

Die gemessene Verkürzung der Balken in Folge der Turgoraufhebung allein variirte also von 7—18 % und war also eine sehr bedeutende.

Um die noch weitergehende Verkürzung der inneren, am meisten gedehnten Balkenschichten zu zeigen, mussten diese unabhängig von den sie umgebenden gemacht werden; am besten gelingt dieses, wenn man die Balken stark aufquellen lässt. Durch dieses Mittel werden die Membranen im Allgemeinen bekanntlich in einen mehr oder weniger halbflüssigen Zustand versetzt, durch welchen sie im Stande sind, alle bestehenden Spannungen auszugleichen[1]). Je erheblicher die Quellung, um so mehr nimmt die Beweglichkeit der Molecüle zu, und um so mehr können die Schichten ihrem Bestreben sich zu verkürzen nachgeben.

Als Quellungsmittel habe ich concentrirte Kalilauge und concentrirte Schwefelsäure geprüft. Die letztere giebt aber bessere Resultate, weil die Quellung eine viel stärkere ist und sie die Membranen schliesslich ganz löst.

Damit die Resultate unabhängig sein sollten von der Verkürzung durch Turgorausdehnung, benutzte ich zu den folgenden Beobachtungen nur Querschnitte von solchen Blättern und Rhizomen, welche schon seit mehreren Wochen in Alkohol von etwa 40 % aufbewahrt waren. Die Schnitte wurden zuvor mit reinem Wasser ausgewaschen und dann mit möglichst wenig Flüssigkeit unter das

---

1) Vergl. z. B. v. Höhnel, Ueber die Mechanik des Aufbaues der vegetabilischen Zellmembranen, Bot. Ztg. 1882, Sp. 595 und 616.

Deckglas gelegt, welches letztere auf drei Papierstückchen ruhte, damit das Object nicht gedrückt wurde.

Dann wurde ein gerader Balken ausgewählt, die Länge desselben zwischen zwei stets leicht erkennbaren Punkten, Anfänge von Verzweigungen und dergleichen, gemessen und erst nachher die Flüssigkeit auf dem Objectglas zugefügt. Die nachträgliche Länge wurde dann gemessen entweder, bei Anwendung von Kalilauge, nachdem die Verkürzung aufgehört hatte, oder, bei Schwefelsäure, kurz bevor der Balken vollkommen gelöst wurde. Während des Aufquellens wurde stets eine entsprechende Verdickung des Balkens wahrgenommen.

Mit Kalilauge erhielt ich bei Balken aus einem normal ausgewachsenen Blatte folgende Resultate:

Ein Stück eines Balkens maass zuvor 92 μ und verkürzte sich bei der Quellung um 18 %.

Ein anderer verkürzte sich bei einer Länge von 75 μ um 18.5 %.

Oben wurde der Balken erwähnt, welcher im lebenden Blatte eine Länge von 205 μ hatte und sich beim Sterben um 18.5 % verkürzte. Der nämliche Balken wurde nachher mit Kalilauge zum Aufquellen gebracht, und dabei verkürzte er sich nochmals um 16.5 % der ursprünglichen Länge im lebenden Zustande, also um 19 % von der Länge, welche er nach dem Tode des Blattes angenommen hatte.

Sieben Balken aus einem ausgewachsenen Rhizome zeigten bei Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure folgende Verkürzungen:

Länge:	Verkürzung bei der Quellung:
88.5 μ	4 %
154 -	6.5 -
163 -	8 -
125 -	8 -
154 -	9.5 -
190 -	13 -
96 -	20 -

Auch an Querschnitten von Blättern konnte immer die Verkürzung der Balken beobachtet werden beim Aufquellen in Schwefel-

säure, doch meistens fand dieses so schnell statt, dass irgend eine genaue Messung mir nicht gelang.

Immerhin beweisen obige Zahlen also zur Genüge, erstens dass die Balken von Caulerpa in der lebenden Pflanze eine nicht geringe Ausdehnung durch die Turgorkraft erfahren und zweitens, dass die inneren Schichten noch mehr gedehnt sind wie die äusseren; das letztere zeigt also, dass fortwährend neue, anfänglich nicht gedehnte Schichten um den Balken herum abgelagert werden, welche verursachen, dass die inneren auch nach der Aufhebung des Turgors ihrem Verkürzungsstreben nicht haben nachgeben können.

Wenn man alle Resultate zusammenfasst, welche in diesem Abschnitt besprochen wurden, so kann es kaum mehr bezweifelt werden, dass die Balken hauptsächlich zu dem Zwecke da sind zu besorgen, dass Caulerpa, auch bei erheblicher Turgorkraft, im Stande ist die zweckmässige, äussere Form ihrer Organe beizubehalten.

Anhang.

Nachdem das Vorhergehende im Manuscript fertig war, wurden noch einige der benutzten Versuchspflanzen weiter cultivirt und einzelne neue Versuche angestellt. Die Hauptergebnisse dieser Beobachtungen werde ich hier kurz zusammenfassen:

1. Auf p. 208 wurde beschrieben, wie, wenn ein Blatt von Caulerpa durch eine sehr grosse, quergestellte Wunde verletzt wird, neben dem Wundende plötzlich ein weisser und ein grüner Streifen über einander auftreten. Als Ursache dieser Erscheinung wurde dann die elastische Zusammenziehung der durch den Turgor gedehnten Organe angegeben, durch welche der Zellsaft mit solcher Geschwindigkeit nach der Wunde hingetrieben wird, dass dabei die Chlorophyllkörner auf den Strömen und im Wandplasma mitgeschleppt werden.

Einen weiteren Beleg für diese Meinung lieferte mir folgender Versuch, welcher mit einer plasmolysirten Pflanze angestellt wurde. Diese hatte nämlich zuvor während $3^1/_2$ Stunden in ungefähr 400 CC einer Lösung von 0.4 Aeq. KNO_3 in Meereswasser verweilt (der Zellsaft von Caulerpa [vergl. p. 172] wird isotonisch sein mit

etwa 0,15 Aeq. KNO_3 in Meereswasser) und war dadurch ganz schlaff geworden. Die Plasmaströmung in den Strängen ging noch stets fort, obwohl weniger schnell wie sonst.

Eins der Blätter wurde jetzt in der oben erwähnten Weise verletzt durch eine quergestellte Wunde, welche nicht weniger als $^3/_4$ der Blattbreite maass.

An den Wundrändern trat kaum einiges Plasma hervor, und erst nach etwa 5 Minuten hatte sich dort sehr wenig, völlig weisser Schleim angesammelt. Im Zellsaft war fast keine Strömung zu beobachten und in Uebereinstimmung damit von einem weissen und dunkelgrünen Streifen keine Spur zu entdecken.

Bei fehlender Turgorausdehnung der Organe traten jene Streifen also nicht auf und dieses zeigt wiederum, in Zusammenhang mit den früher erhaltenen Resultaten, dass jene die mechanische Ursache dieser Erscheinung bei turgescenten Pflanzen darstellt.

Oberhalb der Wunde, sowie auch oberhalb jener Stellen, wo ein anderes gefalten worden war, traten auch in der plasmolysirten Pflanze allmählich Chlorophyllansammlungen auf, ähnlich wie diese zuvor (p. 167 u. 168) unter ähnlichen Umständen für normale Blätter beschrieben wurden. Dieses liefert also den weiteren Beweis, dass diese Erscheinung gänzlich unabhängig ist sowohl von den beschriebenen weissen und dunklen Streifen, als auch von der Ursache dieser, von dem turgescenten Zustande der Pflanze.

2. Die drei Blätter, an welchen die zwei rechtwinklig gebogenen Wunden gemacht waren (vergl. p. 168 ff.), zeigten bei fortgesetzter Cultur folgendes:

Das Blatt A (an welchem die obere Längswunde nicht angebracht war, und welches im Stromverlauf das Nämliche zeigte wie Blatt B) blieb während einiger Tage unverändert, doch dann fingen die Prolificationen an abzusterben. Am 16. Juli waren alle bis nahe an ihren Stielen völlig todt, und am 25. Juli war auch die Blattspitze bis auf die obere Querwunde abgestorben.

Das Blatt B trug ausserhalb der Prolification, aus deren Stiel sich ein neues Rhizom entwickelt hatte, noch eine zweite. Diese letztere fing, wie jene von Blatt A, bald nachher an abzusterben, an der Spitze zuerst und dieses schritt dann allmählich zur Basis hin fort; schon am 16. Juli war sie ganz todt, doch die Ströme um die

Wunden herum, wie Fig. *c* sie zeigt, waren noch zu sehen. Auch die anderen Prolificationen starben dann ab, sowie auch das ganze Blatt bis zur oberen Querwunde, während zu gleicher Zeit die Ströme verschwanden. Am 23. Juli war diese Veränderung vollendet. Nur der untere Theil des Versuchsblattes, sowie das neue Rhizom mit den Blättchen und den Rhizoiden, welches sich aus dem Stiel der einen Prolification entwickelt hatte, waren völlig lebendig geblieben; letzteres führte ein unabhängiges Leben, da es durch den abgestorbenen Theil des Blattes von dem noch lebenden Theile der Versuchspflanze getrennt war.

Das dritte Blatt (C) zeigte ein anderes Verhalten wie die beiden vorigen, weil die Hauptrichtung der Ströme fortwährend unverändert blieb; nur hatten die dickeren sich in mehrere dünnere gespalten. Von einem Absterben des Blattes oder der Prolificationen war nichts zu bemerken, und selbst oberhalb der oberen Querwunde hatte sich eine neue Prolification gebildet; auch am 1. August sah die ganze Pflanze vollkommen frisch aus.

Aus diesem Versuche geht also hervor, dass nur bei einem der drei Blätter die allmähliche Umkehrung des Stromes gelang, doch muss das Misslingen bei den beiden anderen höchst wahrscheinlich dem durch Nebenursachen hervorgerufenen, gehemmten Nahrungstransport zugeschrieben werden, so dass diese letzteren Resultate keinen Schluss erlauben in Bezug auf die Antwort, ob normale Ernährung auch bei umgekehrter Stromrichtung möglich ist. Das Verhalten vom Versuchsblatte C scheint aber für jene Möglichkeit zu sprechen.

3. (Zu p. 243.) In blassgrünen Rhizomen sieht man bisweilen an der Unterseite (niemals aber an der Oberseite) einzelne dunkelgrüne Linien verlaufen, welche ohne Zweifel von den Protoplasmaströmen herrühren. Man kann diese über ziemlich weite Strecken verfolgen, doch sah ich sie niemals in die Blattstiele eintreten oder sich mit den aus diesen heraustretenden Strömen in directe Verbindung setzen. Es scheint also, als wenn die aus dem Blattstiele in das Rhizom übertretenden Stränge ungefähr in der Achse des letzteren verlaufen und sich nicht dem Umkreis nähern.

4. Die auf p. 273 bis 274 beschriebenen Blasen, welche man dann und wann auf frischen Blättern von Caulerpa antrifft, sah ich

auch einige Male auftreten, als ich nicht zu alte oder zu kräftige Blätter in Flemming'sche Lösung brachte, um behufs anderer Untersuchungen das Plasma zu fixiren. Da die genannte Lösung Chromsäure enthält, meinte ich, dass die Ursache ihres Auftretens vielleicht die war, dass die ohnehin schon ziemlich weiche Substanz, aus der die Balken bestehen, durch die Chromsäure gelöst wurde. Daher versuchte ich, ob eine Lösung von 5 % Chromsäure allein (die Flemming'sche Lösung enthält deren nur etwa 1 %) den nämlichen Erfolg haben würde. An keinem der Blätter sah ich aber dann Blasen auftreten. Die Ursache dieses mag darin liegen, entweder dass die Zahl der Blätter, welche ich geprüft habe, nicht gross genug war, denn auch bei Anwendung der Flemming'schen Lösung treten sie nur vereinzelt auf, oder dass die in dieser vorkommende Osmiumsäure das Plasma sehr rasch tödtete und die Chromsäure also die Balken erreichen kann, bevor die Turgorausdehnung der Organe gänzlich aufgehoben ist. Specielle Messungen haben nämlich für Blätter gezeigt, dass die Verkürzung erst etwa zwei Stunden nach dem Sterben vollständig aufgehört hat.

Neapel und Leiden, Juli 1889.

Figuren-Erklärung.

Caulerpa prolifera.

Die Figuren 1—5, 8, 9 und 13 sind mit der Camera lucida gezeichnet. Die Vergrösserung der Figuren wird unten durch die eingeklammerten Zahlen angegeben.

Tafel VI.

Fig. 1 (p. 245—247). Theil aus einem Aestchen eines Rhizoids (etwa 1.5 mm von dessen Spitze entfernt) mit seinen Balken und den zwischen diesen ausgespannten Plasmaströmen; *o* Ströme oder Endigungen der Balken an der oberen, *u* an der unteren Wandhälfte. (300.)

Die Pfeile geben die Richtung der an den betreffenden Stellen beobachteten Bewegung an.

Fig. 2 A (p. 247—248). Spitze eines Rhizoids mit einem centralen Strome, welcher bis an die Spitze fortläuft. (300.)

B. Dieselbe 50 Minuten später.

Fig. 3. Spitze eines Rhizoids mit drei Balken und einigen hyalinen Proto plasmaströmchen. (300.)

A (p. 244) in normalem Zustande.

B (p. 261) nach Anwendung einer plasmolysirenden Lösung von Kalisalpeter in Meereswasser. Das Protoplasma hat sich dabei von der Zellwand unregelmässig, und von zwei der Balken derart zurückgezogen, dass an diesen linsenförmige Figuren (*a*) aufgetreten sind, welche bei weitergehender Plasmolyse wieder verschwanden. Die Strömchen wurden während der Plasmolyse in den Wandbeleg aufgenommen.

Fig. 4 A—F (p. 245–248). Gestaltsveränderungen eines Strömchens, das zwischen dem Wandbeleg und einem Balken ausgespannt war. (300.)

Die Zahlen in Klammern bei jeder Figur geben die Zeiten an zwischen der einen und der vorigen Beobachtung.

Fig. 5 A (p. 248). Spitze eines Rhizoids mit den Plasmaströmen, welche den Zellsaft durchsetzen; an dieser Stelle waren noch keine Balken gebildet worden (300). Form und Richtung der Ströme wechselten immerwährend, wie aus den Figuren 5 A' und 5 B—I hervorgeht. Bedeutung der Zahlen in Klammern wie bei Fig. 4.

Fig. 6 und 7 (p. 169). Wiederholt dichotom verzweigte Blätter in natürlicher Grösse. Die Enden sind in Fig. 6 zugespitzt, in Fig. 7 dagegen abgerundet.

Fig. 8 und 9 (p. 204, 205). Protoplasmaströme in den Spitzen von zwei Blättchen, ähnlich denen von Fig. 6. Fig. 8 mit Quer- und Längsströmen, Fig. 9 mit fast ausschliesslich querverlaufenden Strängen. Die Längsströmung fand in letzterem Falle im Wandbeleg statt. (125.)

Innerhalb eines jeden Stromes befand sich ein Zellstoffbalken.

Tafel VII.

Fig. 10 (p. 218—221). A. Normales Blatt nebst dem unteren Theile einer Prolification. Die feinen Linien auf den Blättern geben hier, sowie in den folgenden Figuren, in Anzahl, Richtung und in relativer Stärke die dunkelgrünen Linien wieder, welche auf ihnen sichtbar sind und von den Plasmasträngen herrühren, in welchen die Strömung vor sich geht (vergl. Fig. 12). Der Querstrich auf dem Blatte giebt die Stelle an, wo es sofort nachher verwundet wurde. (Natürliche Grösse.)

B—F. Das nämliche Blatt nach der Verletzung. Die Zahlen in Klammern geben die Zeit an, welche seit der vorigen Beobachtung verstrich.

Fig. 11 (p. 226—228). A. Basaler Theil eines proliferirenden Blattes mit der Angabe der Richtung der Wunde, welche sogleich nachher gemacht wurde.

B. Das nämliche Blatt acht Tage später. Während dieser Zeit war an demselben ohne bekannte Ursache eine zweite, kleine Verletzung (*a*) aufgetreten.

Fig. 12 (p. 185). Netz von Protoplasmaströmen, welche in einem Blatte zwischen den Zellstoffbalken ausgespannt sind. Die schraffirten Kreise deuten diese Balken an, im optischen Durchschnitt gesehen. (200.)

Der Pfeil neben der Figur giebt die Richtung der Mittellinie des Blattes an.

Fig. 13 (p. 176, 191—195). Theil einer normalen Pflanze mit zwei kräftigen, proliferirenden Blättern auf dem mit zahlreichen Rhizoiden versehenen Rhizome ($^7/_8$ der natürlichen Grösse).

Tafel VIII.

Fig. 14 (p. 196, 221—223). A. Zwei Blätter mit ihren Prolificationen, welche neben einander einem kräftigen Rhizome (welches in der Figur nicht angegeben ist) aufsassen. (Natürl. Grösse.)

Die sechs, mit römischen Zahlen bezeichneten Querlinien auf den Blättern geben, wie in Fig. 10 und 11, die Stellen an, wo die Blätter sogleich nachher mittelst eines scharfen Messers verwundet wurden.

B. Die nämlichen Blätter drei Tage später.

Nachdem diese letztere Zeichnung angefertigt war, wurde das Blatt *a* unten am Stiele abgeschnitten.

C (p. 208). Spitze des Blattes *b* 5 Secunden nach der Entfernung von *a*.

D. Das ganze Blatt *b* einen Tag später.

Fig. 15 (p. 228). A. Basaler Theil eines proliferirenden Blattes mit der Bezeichnung der Richtung der beiden rechtwinklig gebogenen Wunden, welche sogleich nachher angebracht wurden. (Natürl. Grösse.)

B (p. 177). Die verwundete Stelle 5 Minuten später.

C (p. 229). Das Blatt etwa 40 Tage nach der Verletzung.

Die beiden Theile, in der Figur durch punktirte Linien verbunden, waren von einander losgerissen, und dabei war das völlig abgestorbene Zwischenstück verloren gegangen.

Im oberen Theile des Blattes sind die Plasmaströme nur in der linken Hälfte angegeben.

Fig. 16 (p. 233). Kleines, verkehrt-herzförmiges Blättchen, auf welchem das Blatt von Fig. 11 eingepflanzt war, gezeichnet 40 Tage nach der Verletzung des letzteren. (Natürl. Grösse.)

Ueber den Einfluss der Wärme auf die Blüthenbewegungen der Anemone stellata.

Von

Hermann Vöchting.

Die mannigfaltigen Bewegungen der Blüthen sind wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen. Ihre biologische Bedeutung wurde hauptsächlich durch Kerner [1]) und in einzelnen Fällen auch durch Ch. Darwin [2]) klargelegt; ich selbst [3]) versuchte die eigenthümlichen Vorgänge in dynamischer Beziehung aufzuhellen, nachdem einzelne derselben schon früher, wenn auch nur beiläufig und im Dienste anderer Untersuchungen, behandelt worden waren. Später erschien eine besondere Arbeit von Noll [4]) über die Bewegungen der zygomorphen Blüthen.

Die bis jetzt ausgeführten Arbeiten haben gelehrt, dass die fraglichen Bewegungen durch verschiedene Ursachen bedingt werden, durch innere sowohl als äussere. Unter den letzteren sind in erster Linie die Schwerkraft, in zweiter das Licht zu nennen.

---

1) A. Kerner, Die Schutzmittel der Blüthen gegen unberufene Gäste. Innsbruck 1879. — Ferner: Die Schutzmittel des Pollens 1873. p. 30 ff.

2) Ch. Darwin, The Power of Movement in Plants. London 1880. p. 223 u. a. a. O.

3) H. Vöchting, Die Bewegungen der Blüthen und Früchte. Bonn 1882.

4) F. Noll, Ueber die normale Stellung zygomorpher Blüthen und ihre Orientirungsbewegungen zur Erreichung derselben. I. Thl. 1885, II. Thl. 1887. In: Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg. Herausgegeben von J. Sachs. Bd. III, p. 189 und 315.

Im Nachfolgenden werde ich zeigen, dass die Reihe der wirksamen äusseren Kräfte mit den genannten nicht beschlossen ist, sondern einer Erweiterung bedarf. Es tritt zu ihnen die Wärme, welche ausser den bekannten allgemeinen in gewissen Fällen noch besondere Einflüsse ausübt. Die letzteren bestehen erstens darin, dass Temperatur-Unterschiede oberhalb des zum Wachsthum überhaupt erforderlichen Minimums Krümmung und Streckung der Blüthenstiele herbeiführen; zweitens darin, dass sie thermotropische Bewegungen auslösen. Der Beweis für die Existenz dieser Wärmeeinflüsse wurde mit Anemone stellata Lam. geführt, einer an der Riviera heimischen, bei uns zuweilen cultivirten Pflanze. Ein schöner Rasen derselben im Baseler botanischen Garten lieferte mir das Untersuchungs-Material.

Die genannte Pflanze öffnet ihre ersten Blüthen gewöhnlich im April, die folgenden im Mai. Wenn der einblüthige Schaft aus dem Boden hervortritt, so beschreibt er eine scharfe Krümmung, in Folge deren sein ganzer oberer, das Involucrum und die Blüthe tragender Theil senkrecht abwärts gerichtet wird. Diese Lagenverhältnisse werden während der ersten Periode des Wachsthums beibehalten, später aber ändern sie sich, der Schaft streckt sich allmählich gerade und hebt das Involucrum empor. Nun krümmt sich der Blüthenstiel, anfangs in seinem basalen, weiterhin in seinem mittleren und apicalen Theile, während die Blüthe immer noch geschlossen ist. Dann naht die Entfaltung; der Stiel erhebt sich am Morgen, und die Blüthe öffnet sich dem Sonnenstrahl entgegen. Bei klarem Himmel folgt sie annähernd dem Laufe der Sonne, um sich am Abend wieder zu schliessen und durch eine mehr oder minder ausgebildete Senkung des Stieles in Schlafstellung überzugehen. Aus dieser erhebt sie sich am nächsten Morgen wieder, um von Neuem die gestrigen Bewegungen zu beschreiben und sich am Abend wieder zu schliessen und zu neigen. So geht es fort bis zum Verblühen. Sobald aber das Perianth abgefallen ist, tritt ein anderes Verhältniss ein. Nun wächst der Stiel gerade empor, und keine Beleuchtungs- und Temperatur-Einflüsse vermögen ihn aus dieser Lage zu entfernen.

Am schönsten lassen sich die beschriebenen Vorgänge zu einer Zeit beobachten, in welcher die Nächte noch kühl, die Tage aber in Folge starker Strahlung warm sind. Dann gehen die täglichen

Bewegungen in auffallender Weise vor sich. Herrscht dagegen trübes und kaltes Wetter, so behalten die Blüthen auch am Tage ihre nächtliche Stellung bei und öffnen sich nicht. Treten, wie es im April ja häufig der Fall zu sein pflegt, an demselben Tage Witterungswechsel ein, so folgen die Blüthen den jeweiligen Bedingungen, selbstverständlich um so schneller, je jäher die Wechsel stattfinden. Am wenigsten ausgesprochen sind die Stielbewegungen dann, wenn, wie oft im Monat Mai, die nächtliche Temperatur eine höhere geworden ist; in solcher Zeit erfolgen häufig gar keine Krümmungen, während das Schliessen des Perianths in normaler Weise von Statten geht.

Vor dem Eintreten in die Untersuchung der Ursachen der Stielbewegungen sei die Wachsthumsweise der Blüthe noch einer näheren Betrachtung unterworfen. Die Zeit des Blühens der einzelnen Blüthe ist eine auffallend lange und erstreckt sich bei uns meist über viele Tage. Die Entfaltung beginnt zu der Zeit, in welcher das geöffnete Perianth etwa 30 Millimeter im Durchmesser erreicht hat, und endet, wenn dieser bis zu ungefähr doppelter Grösse gestiegen ist. Wie wir seit Pfeffer's [1]) Untersuchungen wissen, beruht das Oeffnen und Schliessen der Blüthen auf dem abwechselnd gesteigerten Wachsthum der Ober- und Unterseite des basalen Theiles der Blumen- bezw. Perigon-Blätter. Dieses Verhalten wird durch die Blätter unserer Blüthe in augenscheinlicher Weise gezeigt. Dieselben haben bekanntlich einen inneren hell- und einen äusseren dunkelgefärbten Theil, welche beide ziemlich scharf von einander geschieden sind. Beim Beginn der Entfaltung nun ist das Verhältniss der beiden Theile derart, dass der innere neben dem äusseren gänzlich zurücktritt; kurz vor dem Abfallen dagegen haben beide etwa gleichen Längsdurchmesser. Es ist somit der untere Theil, welcher während der periodisch erfolgenden Auf- und Abwärtsbewegungen das weitaus überwiegende Längenwachsthum erfährt.

Die Entfaltung der Blüthe nimmt ihren Anfang, wenn der Stiel noch kurz, von etwa 8—10 cm Länge, ist. Anfänglich sind seine Krümmungsbewegungen so energisch, dass die geschlossene Blüthe Nachts mehr oder weniger weit, selbst senkrecht nach unten gerichtet

1) W. Pfeffer, Physiologische Untersuchungen. Leipzig 1873. p. 159 ff.

ist. In späteren Stadien dagegen geht die Neigung meist nur so weit, dass die Längsaxe der Blüthe etwa horizontale Stellung hat. Die Krümmung des Stieles selbst findet stets in einiger Entfernung von der Blüthe statt; der unmittelbar auf die letztere folgende Stieltheil bildet die gerade Verlängerung der Blüthenaxe.

Wir gelangen damit zu den Ursachen, welche die Bewegungen der Blüthenstiele hervorrufen.

Was zunächst die oben besprochene, vor der Entfaltung stattfindende Krümmung des Schaftes und nach seiner Streckung des basalen Stieltheiles betrifft, so bin ich den dieselben bewirkenden Bedingungen nicht nachgegangen. Vermuthlich wird jene Beugung durch eine innere Ursache im Bunde mit der Schwerkraft hervorgerufen. Wir fassen somit lediglich die während der Blüthezeit vor sich gehenden Bewegungen des Stieles in's Auge.

Im Hinblick auf Pfeffer's Untersuchungen über das Oeffnen und Schliessen der Blüthen wurde der Gedanke nahe gelegt, es könnten die fraglichen Bewegungen durch den täglichen Beleuchtungswechsel bedingt werden. Um hierüber Klarheit zu erlangen, wurde an einem sonnigen, warmen Tage gegen 11 Uhr Morgens eine Anzahl geöffneter und der Sonne zugewandter Blüthen vermittelst eines schwarzen Recipienten der Dunkelheit ausgesetzt. Es fand sich jedoch, dass, mochte die Verdunkelung kürzere oder längere Zeit dauern, keine Stielkrümmung eintrat; ebenso wenig erfolgte ein Schliessen der Blüthen. Wohl aber ergab sich die überraschende Thatsache, dass die Blüthen auch unter dem Recipienten dem Laufe der Sonne folgten und im Wesentlichen stets dieselbe Stellung einnahmen, welche die beleuchteten Blüthen hatten. Da ich anfänglich meiner eigenen Beobachtung nicht recht traute, so wurde der Versuch öfters wiederholt; der Hauptsache nach war das Verhalten der Stiele immer das gleiche, doch waren die Bewegungen gegen das Ende der Blüthezeit träger. Auch schien es, als fänden dieselben dann am regelmässigsten statt, wenn die täglichen Wechsel in Beleuchtung und Temperatur verhältnissmässig grosse sind; als ob demnach die Stiele je nach den verschiedenen Witterungsverhältnissen eine — man gestatte mir den Ausdruck — verschiedene Stimmung aufwiesen. Die Bedingungen, welche die beste Stimmung

hervorrufen, erreichen ihren höchsten Einfluss im ersten Abschnitt der Blüthezeit.

Aus dem eben erörterten Versuche folgt, dass die Stiele unserer Blüthen auf eine einseitige Wärmezufuhr mit einer Bewegung antworten, die der gebräuchlichen Terminologie entsprechend als eine positive zu bezeichnen ist. Indem wir uns ein näheres Eingehen auf die unter dem schwarzen Recipienten stattfindenden Vorgänge einstweilen vorbehalten, sei hier nur darauf hingewiesen, dass unser Versuch zu dem Schlusse berechtigt, die dem Laufe der Sonne folgende Bewegung der Blüthen unserer Pflanze werde durch einseitige Wärmezufuhr bedingt.

Nachdem festgestellt war, dass nicht der tägliche Wechsel von Licht und Dunkelheit die auf- und abwärts gehende Bewegung der Stiele hervorruft, schien es geboten, zunächst zu prüfen, ob nicht der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Beziehung zu derselben stehe. Zwei Dinge legten diesen Gedanken nahe: einmal der Umstand, dass die Geschlechtszellen überhaupt vor dem Zutritt von Wasser geschützt werden; sodann die oft gemachte Beobachtung, dass ein zu beliebiger Zeit des Tages erfolgender Regenschauer die Blüthen rasch in die Nachtstellung führt.

Mein erster Versuch war auf den etwa möglichen Einfluss des Dampfgehaltes der Luft gerichtet. Eine grosse Glasglocke wurde in ihrem unteren und mittleren Theile mit feuchtem Fliesspapier ausgekleidet und, nachdem auch der nichtbedeckte Theil mit Wasser benetzt worden, über eine Anzahl von Blüthen gestellt. Vorher war der Boden mit Wasser durchtränkt, und auch die Laubblätter der betreffenden Pflanzen wurden benetzt. Der Versuch wurde Mittags ausgeführt, während die intensiv scheinende Sonne durch den nicht bedeckten Theil der Glocke auf die Blüthen einwirkte. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass unter diesen Umständen der Raum innerhalb der Glocke mit Wasserdampf gesättigt war. Eine Beugung der Stiele aber fand nicht statt, die Blüthen blieben offen und folgten in normaler Weise dem Laufe der Sonne. Nunmehr versuchte ich, ob die Berührung der Blüthen mit flüssigem Wasser von Einfluss sei. Vermittelst einer mit Brausekopf versehenen Giesskanne wurde Mittags, während die Sonne einwirkte, über einem Theile des Rasens ein Regen verursacht, so dass die Blüthen, Stiele

und Laubblätter kräftig benetzt wurden. Allein auch jetzt erfolgte keine Wirkung; die durch die herabfallende Wasserlast theilweise anfänglich um ein Geringes gesenkten Blüthen richteten sich bald wieder empor, blieben geöffnet und beschrieben ihre normale Bahn.

Endlich wurde noch ein dritter Versuch angestellt. Im geöffneten Zustande stellt das Perianth ein schalenförmiges Gebilde dar, aus dessen Mitte die Gruppe der Sexualorgane hervorragt. Diese Schale liess sich bis zu etwa halber Höhe mit Wasser füllen, so dass die Staubblätter bis zu einiger Tiefe in's Wasser ragten; ferner wurde dafür Sorge getragen, dass auch die Fruchtknoten möglichst vollständig benetzt waren. Auch dieser Versuch wurde, wie selbstverständlich, an einem sonnigen Tage ausgeführt. — Es fand jedoch, trotzdem das Wasser zwei Stunden in der Blüthe stehen blieb, keine Krümmung der Stiele statt; weder die nicht unbeträchtliche Wasserlast, noch ein als möglich angenommener Reiz des Wassers auf die Blüthen führten eine Beugung herbei.

Nachdem somit festgestellt war, dass die Krümmung unserer Blüthen nicht durch den Wechsel von Licht und Dunkelheit, und ebenso wenig durch Unterschiede im Wassergehalte der Luft bedingt werden, richtete sich der Blick unter den näher liegenden Möglichkeiten zunächst auf die Temperatur-Verhältnisse. Die Annahme, dass der Wechsel zwischen der täglichen und nächtlichen Temperatur die Aenderung in der Blüthenstellung sowohl als das Oeffnen und Schliessen des Perianths hervorrufe, wurde um so näher gelegt, als ja die Unterschiede zwischen der Tages- und Nacht-Temperatur im ersten Theile des Frühlings gewöhnlich besonders grosse sind. In der That erwies sich diese Annahme als begründet.

Zur Entscheidung der Frage wurden Versuche sowohl im Freien am Standorte der Pflanze, als im Zimmer mit abgeschnittenen Objecten angestellt. Das Verfahren im Freien bestand darin, dass an einem sonnigen, warmen Tage aufrechte Blüthen einer künstlich erniedrigten Temperatur ausgesetzt wurden, während gleichzeitig von oben das Sonnenlicht einwirkte. Der zwischen den Wänden einer grossen doppelwandigen Glasglocke befindliche Raum wurde bis zu etwa Zweidrittel der Höhe der letzteren mit kleinen Eisstücken gefüllt, und nun die Glocke über die betreffenden Objecte gestellt. Im Schatten würde die unter derselben erreichte Abkühlung genügt

haben, unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen aber war dies nicht der Fall, und es erwiesen sich noch weitere Hülfsmittel als erforderlich. Es wurden neben den Blüthen in verschiedener Höhe kleine Gefässe mit Eisstücken aufgestellt, sodann dafür gesorgt, dass beständig von oben über die Glocke in dünner Schicht Wasser herabfloss, welches bis auf nahezu 0° abgekühlt war. Auf diese Weise gelang es, unter der Glocke eine Temperatur von + 7° C. herzustellen, während das Thermometer im Freien in der Sonne 18° C. zeigte. Der Erfolg dieser Behandlung trat sehr bald ein. Die sämmtlichen fünf unter der Glocke befindlichen Blüthen schlossen sich, und führten gleichzeitig oder später mit ihren Stielen die Abwärtsbewegung aus.

Das gleiche Ergebniss lieferten Versuche, welche mit abgeschnittenen Objecten im Zimmer angestellt wurden. Ich nahm erstens geöffnete Blüthen mit aufrechten Stielen, und steckte die letzteren mit ihren basalen Enden in ein kleines mit Sand gefülltes Glasgefäss. Dieses wurde sodann auf den Boden eines höheren und weiteren Cylinders gestellt und der letztere darauf so weit mit Wasser gefüllt, dass sich die Blüthen um mehrere Centimeter unter der Oberfläche desselben befanden. Die Ausführung des Versuches geschah Mittags unter dem Einfluss des vollen Tageslichtes; das Wasser hatte eine Temperatur von 15° C. Unter diesen Bedingungen zeigten die Blüthen keinerlei Veränderungen, sie blieben geöffnet und ihre Stiele gerade. Nunmehr wurde der Cylinder in ein weites, mit einer Mischung von Eis und Wasser gefülltes Gefäss gestellt. In der nächsten Zeit traten auch jetzt keine Veränderungen ein; als aber die Temperatur in dem die Objecte enthaltenden Cylinder allmählich auf 8° und tiefer sank[1]), schlossen sich die Blüthen und ihre Stiele führten die Krümmung aus, trotzdem sie und die Blüthen wegen ihres geringen specifischen Gewichtes einen nicht unbeträchtlichen Auftrieb erfuhren.

Zweitens wurden am Abend geschlossene Blüthen mit gekrümmten

1) Beiläufig sei bemerkt, dass nach Pfeffer (s. l. c. p. 189) bei etwa 8° C. die untere Grenze liegt, von welcher an die Perigon-Blätter von Crocus auf Temperatur-Unterschiede mit Bewegungen antworten. Oberhalb dieser Grenze erweisen sich jedoch die Organe von Crocus erheblich empfindlicher als die Blätter des Perianths und besonders die Blüthenstiele unserer Anemone.

Stielen abgeschnitten und in geeigneter Weise in einem dunklen Raume einer Temperatur ausgesetzt, die allmählich auf 20 ° C. stieg. Nunmehr fand eine Streckung der Stiele und Oeffnung der Blüthen statt, obschon erst kurze Zeit vorher die entgegengesetzten Bewegungen vor sich gegangen waren.

Durch die eben besprochenen Versuche ist der Beweis geliefert, dass die uns beschäftigenden Stielbewegungen durch den täglichen Temperatur-Wechsel hervorgerufen werden. Bei steigender Temperatur am Morgen richtet sich der Stiel empor, bei sinkender Temperatur am Abend krümmt er sich. Nunmehr wird verständlich, warum an kalten, wenn auch hellen, Tagen keine Erhebung, und warum in warmen Nächten während der späteren Blüthezeit keine Senkung der Blüthen erfolgt.

Die vorgeführten Thatsachen nehmen das Interesse darum in besonderem Grade in Anspruch, weil der Stiel und die Blüthe unserer Pflanze radiär gebaute Organe sind. Ein allseitig einwirkender Factor, die Temperatur, ruft eine auf einseitigem Wachsthum beruhende Krümmung oder Streckung der Stiele hervor. Von Pfeffer[1]) wurde zuerst gezeigt, dass dorsiventrale Organe, die Blumenblätter mancher Blüthen, auf Temperaturdifferenzen mit Wachsthum antworten; doch ist das Verhältniss hier derart, dass bei steigender Temperatur stets die eine Seite, bei sinkender die andere wächst. Musste schon diese Thatsache als eigenartig auffallen, so erscheint die ungleiche Bewegung eines radiär gebauten Organes bei verschiedenen Temperaturen noch befremdlicher. Zwar ist hinzuzufügen, dass die Krümmung des Stieles an demselben Object in der Regel in der gleichen Ebene und im gleichen Sinne geschieht, und dass demnach insofern ähnliche Verhältnisse vorhanden sind, wie bei den Blumenblättern; allein die Lage der Krümmungsebene ist eine verschiedene, bald fällt sie mit der Median-Ebene eines Involucral-Blattes zusammen, bald liegt sie in dem Raum zwischen zwei der letzteren. Welche Ursachen die wechselnde Krümmungsrichtung der Blüthen bestimmen, habe ich nicht näher untersucht; es schien mir jedoch, als sei das Licht dabei von Einfluss.

---

1) W. Pfeffer, Physiologische Untersuchungen. Leipzig 1873, p. 181 u. 211.

Im Vorstehenden ist als selbstverständlich angenommen worden, dass die Bewegungen der Stiele auf dem ungleichen Wachsthum zweier Längshälften derselben beruhen. Den Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme durch Messung glaubte ich nicht antreten zu brauchen, theils darum, weil die Stiele thatsächlich während der Bewegungen ein starkes Längenwachsthum erfahren — sie erreichen allmählich eine Länge von 20, 25 und selbst 30 Centimeter —, theils deshalb, weil Pfeffer die erforderlichen Messungen an den Blumenblättern ausgeführt hat.

Die Bewegungen des Stieles und das Oeffnen und Schliessen der Blüthen unserer Pflanze stehen offenbar in nahem Zusammenhange. Die Verhältnisse, welche ich für Papaver und einige andere Pflanzen festgestellt hatte, liessen annehmen, es seien die Bewegungen des Stieles vielleicht direct von denjenigen abhängig, welche das Perianth ausführt, dergestalt, dass jede Oeffnung des letzteren eine Streckung, jedes Schliessen eine Krümmung des Stieles nach sich ziehe. Dieser Annahme stand zwar die früher erwähnte Thatsache im Wege, dass gegen den Schluss der Blüthezeit in warmen Nächten die Stielkrümmungen unterbleiben, obschon die Blüthen sich schliessen. Allein es war möglich, dass dieses Verhalten auf inneren Veränderungen beruhte, welche der Stiel um das Ende der Blüthezeit eingeht, und es konnte daher jenes Abhängigkeitsverhältniss trotz der scheinbar entgegenstehenden Thatsache vorhanden sein. Um die Frage zu entscheiden, wurde eine Anzahl von jungen, beweglichen Stielen ihrer Blüthen beraubt. Es zeigte sich jedoch, dass die ersteren ihre Bewegungen bis zum zweiten Tage in normaler Weise ausführten; ja selbst am dritten Tage fanden an einzelnen Objecten noch Krümmung und Streckung statt, wenn auch weniger ausgiebig als früher. Dann erst wurden die Stiele unbeweglich, ein Umstand, der aber offenbar auf secundären Ursachen, wahrscheinlich auf ungenügender Ernährung, beruhte.

Aus diesem Versuch ergiebt sich, dass die vermuthete unmittelbare Abhängigkeit der Stielbewegungen von dem Oeffnen und Schliessen des Perianths nicht vorhanden ist, und dass die Bewegungen der beiderlei Organe bis zu einem gewissen Grade unabhängig von einander verlaufen; dass sie in anderer Art, vor

Allem in biologischer, in Zusammenhang stehen, leuchtet ohne Weiteres ein und bedarf an diesem Orte keiner näheren Erörterung.

Bis hierher wurde die Untersuchung hauptsächlich an Pflanzen geführt, welche ihren Standort im Freien einnahmen und während der Versuche behielten. Nunmehr handelte es sich um ein näheres Eingehen auf Fragen, welche sich aus der Untersuchung selbst erst ergeben hatten und die sich nur im Laboratorium entscheiden liessen, an einem Orte, der eine genauere Regelung der äusseren Bedingungen zuliess, als sie im Freien möglich war. Vor Allem erschien eine genauere Bestimmung der Temperatur-Grenzen, innerhalb deren die verschiedenen Bewegungen vor sich gehen, erforderlich; sodann bedurften die früher besprochenen eigenthümlichen Bewegungen, welche die Blüthen unter dem von der Sonne beschienenen schwarzen Recipienten ausführen, einer Aufhellung. Allein diese Untersuchung im Laboratorium führte zu keinem befriedigenden Ergebniss, da die Objecte zu grosse Schwierigkeiten bereiteten. Wurde der Schaft von der Pflanze getrennt, gleichviel ob ohne oder mit Rhizom-Stück, so zeigte die Blüthe anfänglich noch das normale Verhalten; sehr bald aber traten Veränderungen ein, welche gänzlich unberechenbare Folgen hatten[1]). Von den zahlreichen, während zweier Frühlinge angestellten Bemühungen seien hier nur die auf die zweite der vorhin aufgeworfenen Fragen sich beziehenden erwähnt.

Die unter dem schwarzen Recipienten stattfindende Bewegung der Blüthen ist offenbar eine thermotropische. Der Recipient wird von der Sonne einseitig erwärmt und wirkt mit der bestrahlten Seite auf die Blüthe. Die Fortpflanzung der Wärme innerhalb des Recipienten geschieht auf zweierlei Art: durch Strahlung und durch Leitung; und es entsteht die Frage, ob eine dieser beiden Kräftequellen, oder ob beide die Bewegungen der Blüthe bedingen.

An anderem Orte[2]) habe ich darauf hingewiesen, dass der mit dem Worte „Thermotropismus“ verbundene Begriff noch der Klärung

---

1) Aehnliche Beobachtungen machte Pfeffer, vergl. l. c. p. 199.

2) H. Vöchting, Ueber den Einfluss der strahlenden Wärme auf die Blüthenentfaltung der Magnolia. — Berichte der deutschen botan. Gesellschaft, Jahrg. 1888, Bd. VI, p. 177.

bedarf. In den bisher ausgeführten Untersuchungen, die wir fast ausschliesslich Wortmann[1]) verdanken, gelangte bald strahlende, bald Leitungswärme zur Wirkung, und es lassen dieselben daher kein abschliessendes Urtheil zu. Da die Blüthenstiele unserer Anemone sich unter normalen Bedingungen als sehr beweglich erwiesen, so hoffte ich anfänglich, die oben aufgeworfene Frage für sie entscheiden zu können, aus dem vorhin angeführten Grunde aber ging diese Hoffnung nicht in Erfüllung.

Zunächst wurde der Versuch im Zimmer so gestaltet, dass annähernd dieselben Bedingungen einwirkten, wie bei dem Experiment im Freien. Abgeschnittene, mit Rhizom-Stücken versehene Objecte, deren Stiele sich kürzlich gekrümmt hatten, wurden Abends in kleine, mit feuchtem Sande gefüllte Gefässe gesteckt, mit einem schwarzen Recipienten bedeckt und nun einer auf die eine Längswand des letzteren wirkenden Wärmequelle ausgesetzt. Als solche diente ein erhitztes Sandbad; die unter dem Recipienten in der Umgebung der Blüthen herrschende Temperatur wurde so geregelt, dass sie dauernd 18 ° C. betrug. Unter diesen Bedingungen erhoben sich die Blüthen, denen beim Beginn des Versuches eine von der Wärmequelle abgewandte Stellung gegeben war, bald, öffneten sich und neigten sich der Wärmequelle zu. Die letztere Erscheinung fand jedoch nicht immer statt; manchmal richteten sich die Stiele lediglich empor, dann wieder erhoben sie sich, um nun ganz unregelmässige Bewegungen zu beschreiben. Fast ausnahmslos traten die letzteren dann ein, wenn die Objecte einen oder zwei Tage unter dem Recipienten verweilt hatten, und nun von Neuem zum Versuch benutzt werden sollten. Und ebenso unberechenbar verhielten sie sich dann in Bezug auf das Oeffnen und Schliessen der Blüthen.

Ein weiterer Versuch bestand darin, dass die Objecte im dunklen Raume hinter einem Glasgefäss aufgestellt wurden, das mit einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllt war. Durch diese diathermane Lösung liess ich die Strahlen einer Wärmequelle der oben bezeichneten Art einwirken. Aber auch in diesem Versuch

---

1) J. Wortmann, Ueber den Einfluss der strahlenden Wärme auf wachsende Pflanzentheile. Bot. Ztg. 1883, p. 457 ff. — Weiter: Ueber den Thermotropismus der Wurzeln. Bot. Ztg. 1885, p. 193 ff.

wurde kein eindeutiges Ergebniss gewonnen, und es blieb daher einstweilen die Frage unentschieden, ob strahlende oder Leitungswärme die Bewegung der Stiele bedingt. Allem Anschein nach sind die beiden Kraftformen im Stande, die fragliche Wirkung hervorzurufen, und es mögen die Stiele unserer Pflanze daher einstweilen als thermotropisch bezeichnet werden.

Ein etwas besserer Erfolg wurde erzielt, als es sich um die Beantwortung der Frage handelte, ob die Stiele auch heliotropisch seien. An einem nach Norden gerichteten Fenster des Zimmers wurden zwei Glasgefässe mit abgeschnittenen Objecten aufgestellt, das eine frei, das andere bedeckt mit einem schwarzen Recipienten. Der Versuch begann am Morgen, und während der ganzen Dauer desselben fiel lediglich diffuses Licht ein. Unter dem Einfluss der Zimmer-Temperatur fand bald die Streckung der Stiele und das Oeffnen der Blüthen sowohl im Hellen als im Dunklen statt. Weiterhin krümmten sich an den dem Licht ausgesetzten Objecten die Stiele schwach nach der Fensterseite und erwiesen sich somit als positiv heliotropisch. Der Versuch ist nicht ganz einwurfsfrei, da ausser den Licht- auch Wärmestrahlen durch das Fenster einfielen. Zweifellos war aber unter den obwaltenden Verhältnissen die Menge der letzteren so gering, dass dieselben auf den Verlauf des Versuches keinen Einfluss hatten.

Fasst man alles über die Stiele unserer Pflanze Gesagte zusammen, so ergiebt sich, dass dieselben Organe mit besonderen Eigenschaften darstellen. Sie sind negativ geotropisch und in schwachem Grade positiv heliotropisch, daneben zeigen sie eine ungewöhnliche Empfindlichkeit gegen den Einfluss der Wärme. Diese Empfindlichkeit ist von zweierlei Art. Sie äussert sich erstens gegenüber der Temperatur, welche in dem Raume herrscht, in dem die Organe sich befinden; und von diesem allseitig wirkenden Einfluss hängt es ab, ob die Blüthen aufrechte oder geneigte Stellung einnehmen. Zweitens zeigt sie sich einer einseitig wirkenden Wärmequelle gegenüber, indem sich der Stiel der letzteren zuwendet bezw. derselben folgt, eine Erscheinung, die aber nur dann eintritt, wenn unter dem Einfluss einer höheren Temperatur die aufrechte Stellung des Organes erlangt ist.

Soweit mir bekannt, ist der im Vorstehenden erörterte Einfluss

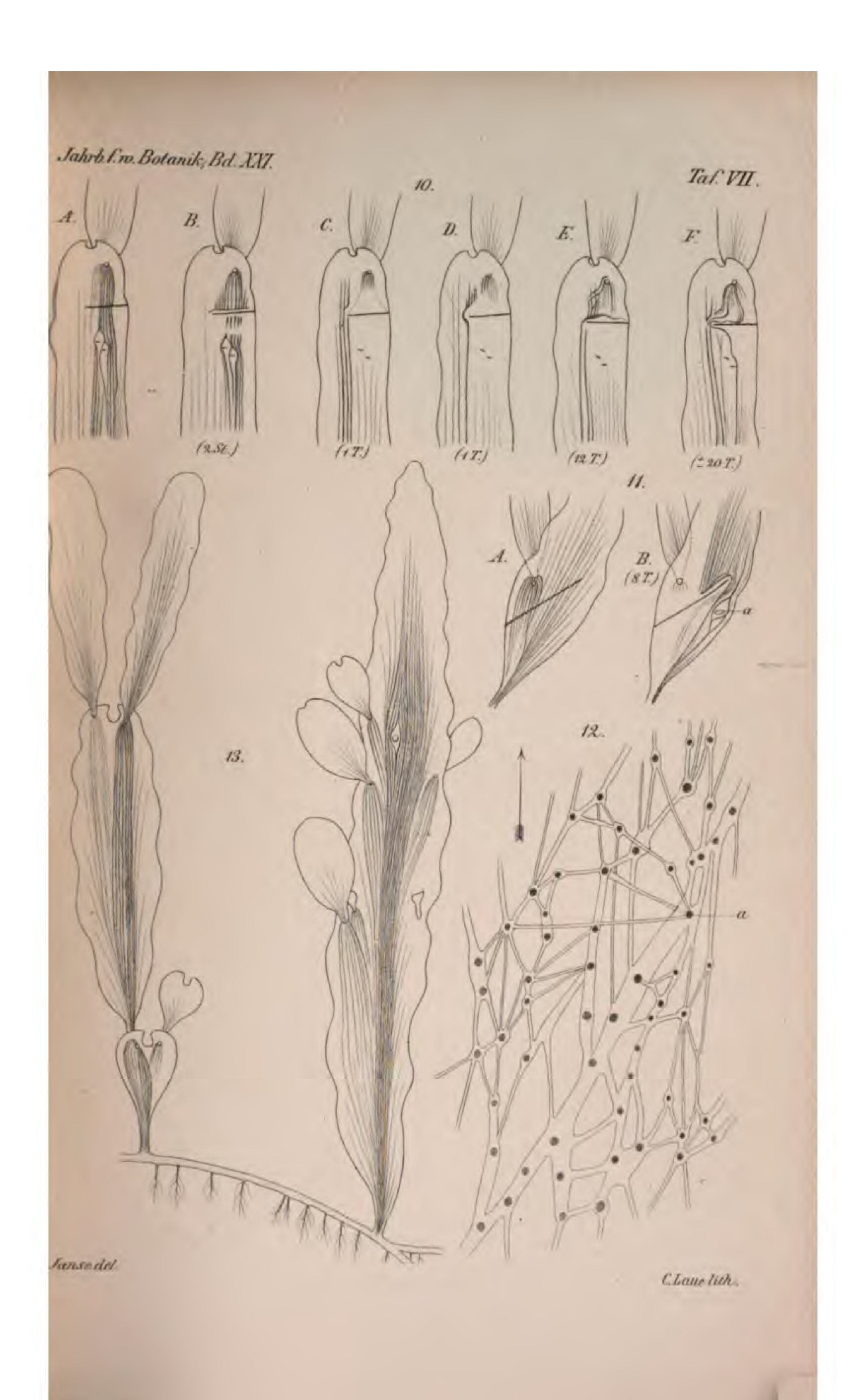
der Temperatur auf die Bewegungen eines radiär gebauten Organes der erste in seiner Art bis jetzt bekannte. Vermuthlich giebt es noch manche derartige Fälle. Es schien mir, als verhalte sich Anemone nemorosa ähnlich wie A. stellata. Auch Tulipa silvestris wird hierher gehören; ihre Bewegungen gleichen denen der Anemone stellata in den Hauptpunkten, und ein einfacher Versuch lehrte mich, dass die Erhebung der Stiele und das Oeffnen der Blüthen am Morgen bei steigender Temperatur auch im Dunklen vor sich gehen. — Die nähere Beobachtung solcher Pflanzen, welche im Frühling und Spätherbst blühen, dürfte zweifellos die Zahl der hierher gehörenden Fälle beträchtlich vermehren.





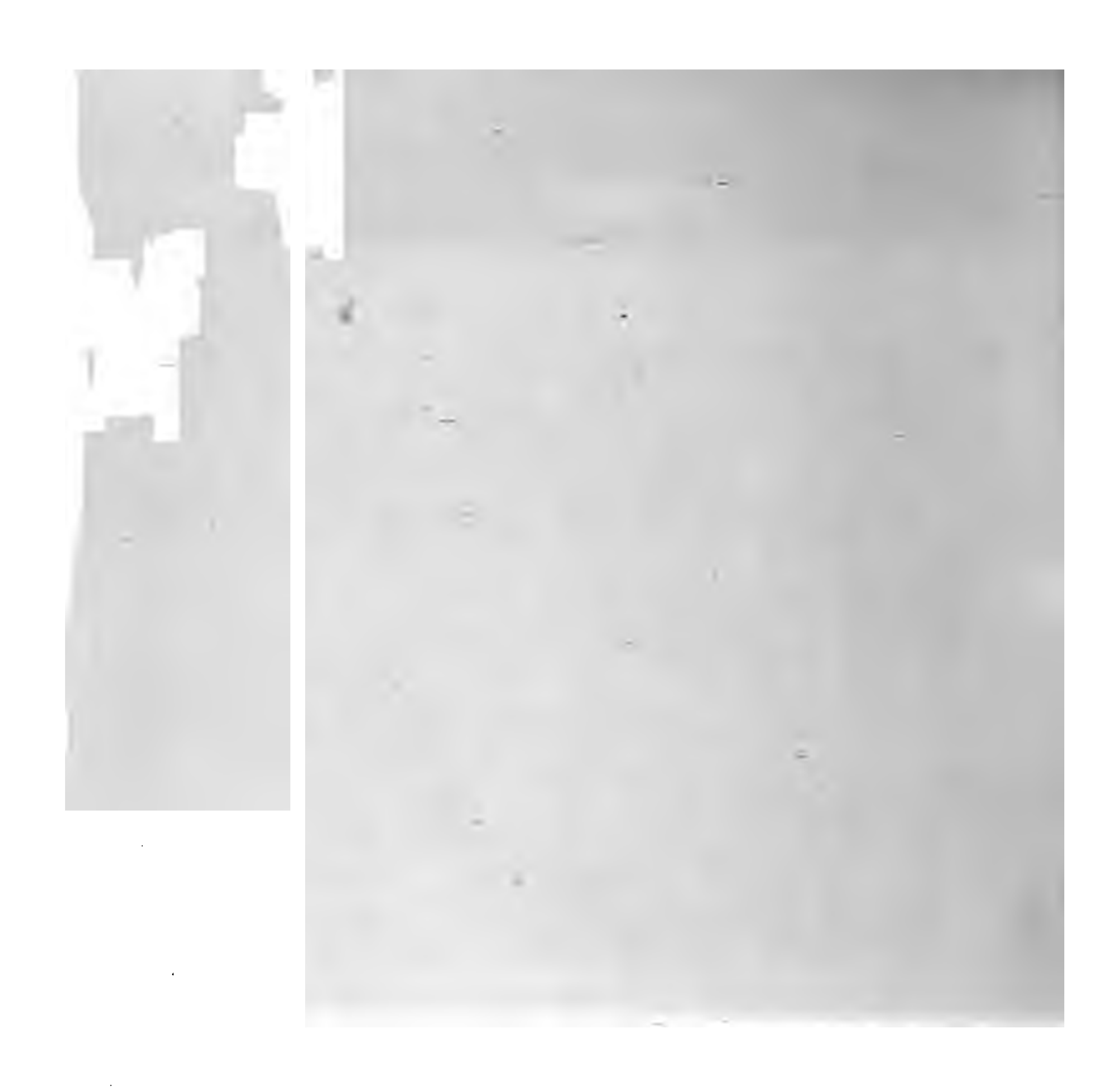
M. Janse del. C. Laue lith.

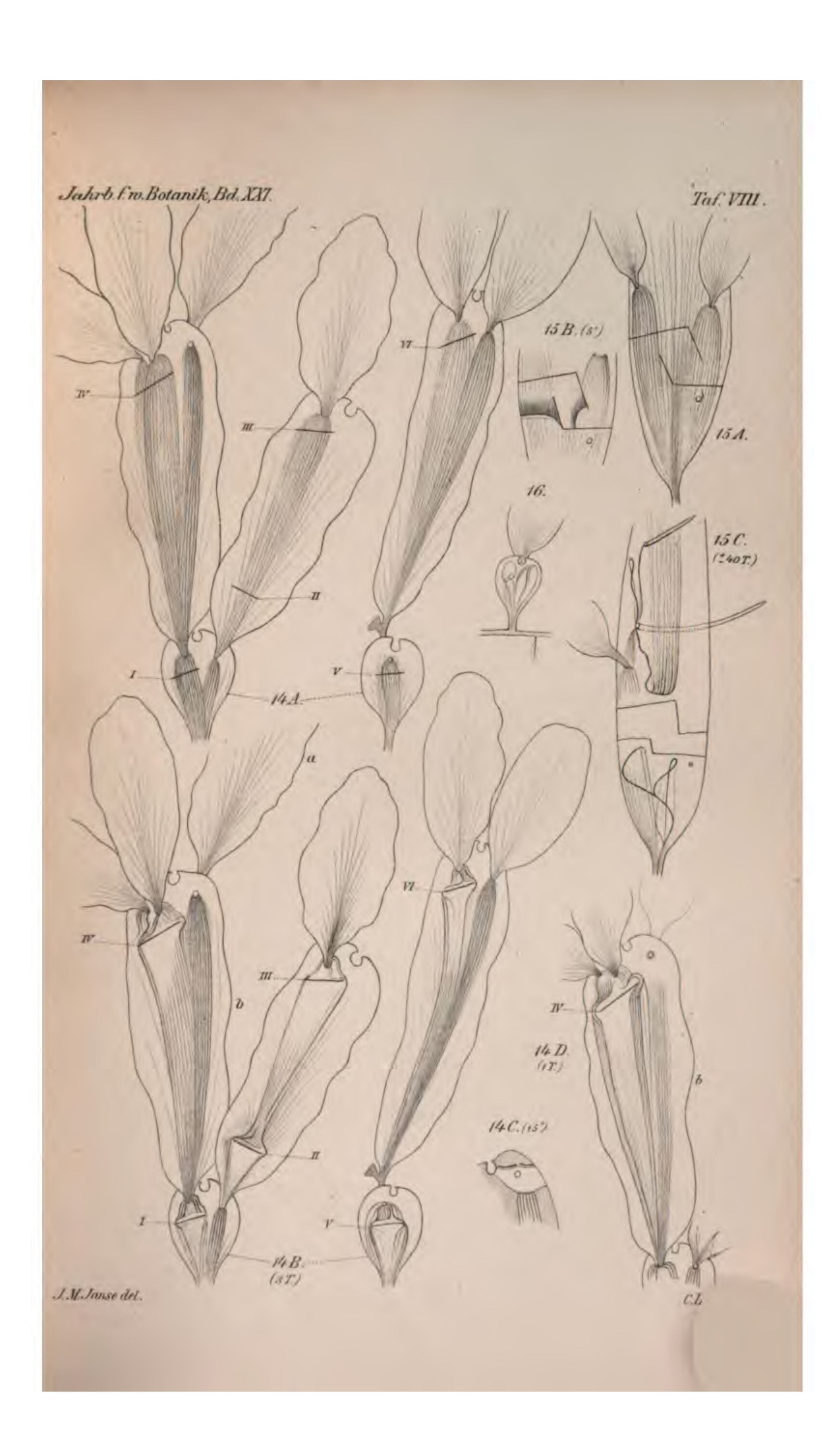




Janse del.

C. Laue lith.





15 B. (5')
15 A.
16.
15 C.
(240 T.)
14 A.
14 B.
(8 T.)
14 C. (15')
14 D.
(1 T.)
J. M. Janse del.
C. L.



Die Entstehung der Vacuolen in den Fortpflanzungszellen der Algen.

Von

F. A. F. C. Went.

Hierzu Tafel IX—XII.

I. Einleitung.

Als de Vries seine Hypothese über die panmeristische Zelltheilung zuerst aufstellte [1]), wurde ihm von verschiedenen Seiten vorgeworfen, dass alle bekannten Thatsachen bei den Algen seiner Hypothese zu widersprechen schienen. Ein Beispiel findet man in der folgenden Aeusserung von Berthold [2]): „Fast alle bekannten directen Beobachtungen über die Bildung der Vacuolen im Plasmakörper, wie sich solche in den die Entwickelung der Thallophyten behandelnden Monographien in grosser Menge vorfinden, können mit dieser Hypothese (i. e. der de Vries'schen) nur mit Hülfe von sehr gezwungenen und willkürlichen Voraussetzungen im Einklang gebracht werden. Aus den Beobachtungen direct ergiebt sich die naheliegende, rein physikalische Auffassung, dass es sich hierbei um nichts weiter als um Entmischungsvorgänge im Protoplasma handelt." Die bis jetzt bekannten Beobachtungen über Algen machen allerdings auf den ersten Blick den Eindruck, dass sie sich sehr schwer in

1) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI, p. 489 ff. Vergleiche auch: de Vries, Intercellulare Pangenesis, p. 120 ff.

2) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, Leipzig 1876, p. 155.

die Hypothese der panmeristischen Zelltheilung hineinzwängen lassen; die Ursache davon liegt aber meiner Meinung nach hierin, dass man nie genügend Acht gegeben hat auf Vacuolen und andere Organe der Protoplaste bei den Algen; das wäre auch in vielen Fällen sehr schwierig gewesen, weil man nicht im Stande war, mit den damals bekannten Reagentien die verschiedenen Organe von einander zu unterscheiden. Niemand wird jetzt mehr Beobachtungen aus v. Mohl's Zeit als Argumente in der Kerntheilungsfrage benutzen, und ebenso wird es in einigen Jahren der Fall sein mit Beobachtungen über Vacuolen, welche vor dem Erscheinen der „Plasmolytischen Studien über die Wand der Vacuolen" gemacht worden sind.

In den älteren Mittheilungen über Algen liest man sehr häufig, dass Vacuolen verschwinden, oder neue Vacuolen auftreten, aber dazu kommt dann im ersten Falle sehr oft die Bemerkung, dass das Protoplasma ganz dichtkörnig und undurchsichtig geworden sei, während umgekehrt im zweiten Falle öfters die Durchsichtigkeit desselben zugenommen hat. Man wird natürlich leicht versucht, hier an einen Zusammenhang zwischen beiden Thatsachen zu glauben, und anstatt Verschwinden und Neuentstehen der Vacuolen zu lesen: Unsichtbarwerden und Wiedersichtbarwerden infolge der Veränderungen in der Beschaffenheit des Protoplasmas. Ich möchte ein Beispiel aus allerjüngster Zeit anführen, um zu zeigen, wie leicht man oft über das Verschwinden von Vacuolen spricht; es betrifft nämlich die Abhandlung von Reinke über Tilopterideen [1]). Für Haplospora globosa giebt er an, dass bei der Bildung der Sporen die Vacuolen verschwinden und anstatt deren eine grosse Anzahl von Schleimkugeln auftreten; bei der Keimung verschwinden diese letzteren wieder, während jetzt sich wieder neue Vacuolen bilden. Ein Blick auf Reinke's Fig. 11—15, Taf. II wird wohl Jeden überzeugen, dass hier vom Verschwinden und Neuentstehen von Vacuolen keine Rede ist, sondern dass es sich einfach handelt um eine Bildung von Schleim im Inhalt der Vacuolen, welcher Schleim bei der Keimung wieder verschwindet. Dasselbe gilt auch für Scaphospora speciosa, wo Reinke dieselbe Erscheinung meint

---

1) J. Reinke, Ein Fragment aus der Naturgeschichte der Tilopterideen. Bot. Ztg. 1889, No. 7, 8, 9, Taf. II, III.

gesehen zu haben bei den Organen, welche er Oogonien nennt. Wenn man sich aber seine Fig. 1—8 auf Taf. III betrachtet, wird sich wohl noch klarer herausstellen, dass diese Schleimkugeln Vacuolen sind mit schleimigem Zellsaft, welche entstanden sind durch Theilung der ursprünglich in geringer Anzahl vorhandenen Vacuolen des „Oogoniums". Uebrigens findet man auch in der älteren Litteratur in einigen Abbildungen von Generationsorganen der Algen schon Vacuolen gezeichnet; so besonders in den verschiedenen Abhandlungen von Thuret und Bornet, dann aber auch z. B. bei Pringsheim für die Tetrasporangien von Streblonema volubilis[1]) und die Tetrasporen von Ceramium rubrum[2]). Daneben geht aus einer Mittheilung Hofmeister's[3]) hervor, dass dieser die Schwärmsporen sowohl der Algen wie der Pilze im Besitz glaubte von Vacuolen, indem er von diesen spricht über die Zunahme des Umfangs bereits vorhandener Vacuolen infolge fortgesetzter Wasseraufnahme. Auf die Litteratur werde ich übrigens später noch näher zurückkommen.

Wie sich aus dem oben Mitgetheilten ergiebt, besteht ein Widerspruch zwischen den bei den Algen bekannten oder bekannt geglaubten Thatsachen und meinen bisherigen Untersuchungen[4]). Ich habe aber auch schon mitgetheilt, dass wir hier nicht mit festbegründeten Thatsachen zu thun haben, und es schien mir wünschenswerth, speciell die Generationsorgane der Algen zu prüfen, um zu erfahren, in wie weit sich die Vacuolen auch dort durch Theilung vermehren; ein Aufenthalt an der zoologischen Station zu Neapel bot mir dazu die Gelegenheit. Dabei habe ich aber auch die anderen Organe des Protoplasmas in meine Untersuchung mit hineingezogen, wenn auch die Vacuolen mir Hauptsache waren. Mit Kern und Chromatophoren brauchte ich mich natürlich nicht eingehend zu beschäftigen, für diese ist ja wohl die panmeristische

1) Pringsheim, Abh. d. königl. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, 1862, p. 1, Taf. IV.

2) Pringsheim, l. c. Taf. VII.

3) Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 6.

4) De jongste toestanden der vacuolen, Amsterdam 1876. Arch. Néerl. des Sc. ex. et nat. 1887, und: Die Vermehrung der norm. Vacuolen durch Theilung, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, 1888, p. 295.

Zelltheilung allgemein anerkannt. Aber anders gestaltet es sich für die Frage nach der Hautschicht, ob diese sich jedesmal wieder neubildet aus Körnerplasma, oder ob sie sich auch durch Theilung vermehrt. Eine Entscheidung hierüber wird wohl erst stattfinden können, wenn es gelingt, die Hautschicht in irgend einer Weise von dem übrigen Protoplasma zu isoliren oder sie wenigstens mittelst Reagentien immer scharf zu unterscheiden. Die Publicationen der letzten Jahre, sowohl die schönen Untersuchungen von Klebs[1], als wie das neue Buch von Strasburger[2] haben die Frage ihrer Lösung nicht viel näher gebracht. Selbst wenn sich die von Klebs getheilte Ansicht Strasburger's als richtig herausstellen würde, dass bei der Bildung der Zellhaut immer Protoplasmalamellen selbst sich in Cellulose umwandeln[3], so kann ich darin noch keinen Grund sehen, die Hautschicht nicht als besonderes Organ zu betrachten, ebenso wenig wie etwa die Chromatophoren sich nicht durch Theilung vermehren würden, wenn sich herausstellte, dass die Schichten der Stärkekörner durch Umwandlung von Protoplasmaschichten der Chromatophoren in Stärke hervorgingen. Dass die Untersuchungen von Klebs mit verwundeten Vaucheriafäden ausgeführt für die Herkunft der Hautschicht nicht beweisend sind, hat de Vries schon genügend gezeigt[4]. Ich möchte nur noch die Bemerkung hinzufügen, dass die zum Wachsthum der Hautschicht nothwendige Nahrung wahrscheinlich vom Körnerplasma herbeigeführt wird, und dass es also Niemand wundern wird, wenn bei der Bildung neuer Hautschicht Körnchen aus dem Körnerplasma dorthin strömen. Meine eigenen Untersuchungen haben auch nicht viel Neues über die Hautschicht ergeben, und nur in einigen Fällen führten mich die Beobachtungen mit grösserer Wahrscheinlichkeit zur Annahme einer Vermehrung der Hautschicht durch Theilung,

---

1) Klebs, Beitr. z. Physiol. der Pflanzenzelle. Unters. a. d. bot. Inst. z. Tübingen, Bd. II, 1888, p. 489.

2) Strasburger, Histol. Beitr. II: Ueber das Wachsthum vegetab. Zellhäute, Jena 1889.

3) Die vor Kurzem von Zacharias (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX, p. 107) mitgetheilten Beobachtungen an pathologisch veränderten Wurzelhaaren von Chara scheinen zu demselben Schlusse zu führen.

4) de Vries, Intercellulare Pangenesis, p. 137, 138.

als wie zur neogenetischen Auffassung; aber die Frage ist noch ebenso wenig im einen wie im anderen Sinne entschieden.

Dagegen haben meine Untersuchungen über Vacuolen mich wo möglich noch zwingender wie früher zu der Ueberzeugung geführt, dass diese Gebilde ganz selbstständige Organe des Protoplasmas sind, welche sich nur durch Theilung vermehren. Schon darin wird man einen Fortschritt unserer Kenntnisse über Vacuolen sehen können, dass ich dieselben jetzt auch in den generativen Zellen der Algen gefunden habe; aber Hauptsache ist hier die Bildung von verschiedenen Schwärmsporen aus einer Zelle, wobei sich die ursprünglich in der Einzahl vorhandene Vacuole durch Theilung sehr stark vermehrt, damit jede Zoospore ihre Vacuole bekommen kann.

Die ausführlichsten Mittheilungen über das Verhalten des Protoplasmas bei der Bildung von Schwärmsporen verdanken wir Strasburger; ich werde diese bei den verschiedenen Gruppen gesondert besprechen und möchte hier nur kurz auf die analoge Erscheinung bei den Pilzen aufmerksam machen, wo wir eine sehr eingehende Beschreibung von Büsgen über die Entwickelung des Phycomycetensporangiums besitzen [1]). Er sah bei Dictyuchus und Leptomitus feine Linien von Protoplasmakörnchen auftreten, welche später wieder verschwanden, indem das Protoplasma ganz hyalin ward; nachher bildeten sich an denselben Stellen wieder neue Linien, wo jetzt die Trennung in Schwärmsporen stattfindet; dabei spricht er fortwährend von dem Verschwinden und Wiederauftreten kleiner Vacuolen; bei Leptomitus enthält aber jede Schwärmspore eine Vacuole. Wenn man dieselben Objecte noch einmal mit den jetzigen Methoden der Vacuolenforschung untersuchte, so würde sich wahrscheinlich herausstellen, dass diese kleinen Vacuolen durch Theilung aus der grossen centralen Safthöhle des Sporangiums hervorgegangen sind, in derselben Art, wie ich das für die Algen beschreiben werde [2]).

Bevor ich jetzt meine Beobachtungen mittheile, möchte ich erst noch kurz die Methoden besprechen, durch welche man die Vacuolen zu sehen bekommt. Natürlich muss man Meeresalgen, um dieselben

---

1) Büsgen, Die Entwickelung des Phycomycetensporangiums. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 253.

2) Vergl. auch Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 310.

lebend zu erhalten, in Seewasser untersuchen. Oft sind dann schon ohne Weiteres die Vacuolen unter dem Mikroskop sichtbar, aber in vielen Fällen macht es den Eindruck, als wenn eine Zelle keine solche Gebilde enthält. Die Ursache davon liegt dann entweder darin, dass diese Organe vom Kern oder den Chromatophoren verdeckt werden, oder das Cytoplasma ist zu körnig oder zu stark lichtbrechend, um etwas in seinem Innern unterscheiden zu können. Bisweilen sind jetzt die Vacuolen in fixirten Präparaten sichtbar, aber da muss man doch sehr vorsichtig sein mit seinen Schlüssen, weil bei schlechter Fixirung oft Höhlungen im Protoplasma entstehen, welche den Eindruck machen, dass man Vacuolen vor sich hat. Sehr oft müssen aber Reagentien zur Hand genommen werden; entweder man tödtet das Protoplasma mit einer 10—15 procentigen Salpeterlösung (in Seewasser gelöst) mit Eosin gefärbt, und lässt darauf die noch lebende Vacuole in reinem Wasser mit Eosin anschwellen und derart sichtbar werden, oder man bringt die zu untersuchende Zelle direct aus dem Meerwasser in mit Eosin versetztes destillirtes Wasser, wobei das Cytoplasma gleich abstirbt und die Vacuole, indem sie sich ausdehnt, oft als farblose Blase in der rothen Flüssigkeit sichtbar wird und nachher platzt. Diese letztgenannte Methode muss aber mit sehr viel Vorsicht angewandt werden; es ist ja oft nicht möglich zu entscheiden, ob die Blasen, welche man auftreten sieht, wirklich die angeschwollenen normalen Vacuolen sind, oder nur entstanden sind bei dem Absterben des Cytoplasmas als sogenannte pathologische Vacuolen, Bildungen, welche mit den normalen Vacuolen in gar keinem Zusammenhang stehen. Die erstgenannte Methode wollen wir noch etwas genauer betrachten; wir müssen bedenken, dass es fast immer sehr kleine Zellen sind, wobei sie angewandt wird, z. B. Schwärmsporen; es können sich da verschiedene Fälle ereignen. Denken wir uns eine Schwärmspore, welche eine Vacuole enthält, die von dem übrigen Inhalt verdeckt wird. Wir bringen dieselbe in eine 10—15 procentige eosinhaltige Salpeterlösung. Das Protoplasma stirbt, was sichtbar wird durch die rothe Farbe, welche es annimmt. Für die Vacuole giebt es jetzt zwei Möglichkeiten, entweder dieselbe stirbt auch, und dann kann sie natürlich in keiner Weise sichtbar gemacht werden, oder sie bleibt am Leben erhalten. Kommt der

letztgenannte Fall vor und setzen wir jetzt mit Eosin gefärbtes destillirtes Wasser hinzu, so wird die Vacuole Wasser aufnehmen und sich vergrössern. Nach kürzerer oder längerer Zeit wird sie platzen oder absterben, indem sie allmählich für Eosin permeabel wird. Wenn die Vacuole sich soweit vergrössert, dass sie als farblose Blase aus dem rothen Protoplasma hervortritt, wird ihre Anwesenheit sichtbar, sonst können diese Vorgänge sich abspielen, ohne dass man eine Spur davon bemerkt. Wenn man noch dabei in Betracht zieht, dass diese Vacuolen sehr klein sind, und die Beobachtungen also mit den allerstärksten Linsen gemacht werden müssen, so ergiebt sich daraus der Schluss, dass man wohl auf Anwesenheit, aber nicht auf Fehlen von Vacuolen schliessen kann. Dazu kommt noch, dass dasselbe Object sich Reagentien gegenüber nicht immer ganz gleich verhält. Zum Fixiren der Algen benutzte ich, nach dem Rathschlage Berthold's [1]), theilweise eine Lösung von Jod in Meerwasser; darauf wurden die Algen in 50 % Alkohol gebracht und von dort in resp. 70 %, 90 %, 95 % und abs. Alkohol übertragen. Diese Methode gab oft sehr gute Resultate, obwohl, wie mir vorkommt, Fixirung mit einer Lösung von $^1/_2$—1 % Chromsäure in Seewasser und nachherige Uebertragung in Alkohol bisweilen bessere Präparate ergiebt, wobei weniger Schrumpfen des Zellinhalts vorkommt.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen werde ich die verschiedenen Algen, welche ich beobachtete, nach einander systematisch besprechen.

II. Florideae.

Wie überhaupt für Algen, so findet man in der Litteratur über Florideen verschiedene Angaben von Fehlen der Vacuolen in den Generationszellen. Bei den von mir untersuchten Arten werde ich dasjenige, was über diese bekannt ist, mittheilen; ich möchte hier nur als Beispiel anführen, was Berthold über die Tetrasporen von

1) Berthold, Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Meeresalgen. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIII, 1882, p. 704.

Chylocladia kaliformis sagt[1]); „Die jungen Mutterzellen sind kugelförmig und enthalten einen gerüstförmigen Protoplasmakörper mit centralem Kern, während die Farbstoffkörper durch das ganze Innere vertheilt sind. Durch Theilung entstehen 4 Kerne, und darauf bilden sich 6 Scheidewände, welche von aussen nach innen sehr langsam wachsen. Lange Zeit nach ihrem ersten Sichtbarwerden, wenn die anfangs wenig inhaltsreichen Zellen sich schon vollständig mit Protoplasma und Reservematerial gefüllt haben, hängen die 4 Theilzellen in der Mitte noch zusammen." Also, nach der Meinung Berthold's, würde ein Verschwinden der anfangs vorhandenen Vacuolen stattfinden; wie wir bald sehen werden, machen die meisten Tetrasporen ganz den Eindruck, den er beschreibt, aber dennoch sind die Vacuolen nicht verschwunden. Andererseits nennt Schmitz in den Spermatien der Florideen, die Chromatophoren und Vacuolen gar nicht unter den Inhaltskörpern[2]), während er an einer anderen Stelle[3]) allerdings angiebt, dass die Spermatien zwar bei Batrachospermum vacuolenfrei seien, aber in anderen Fällen (z. B. Polysiphonia atrorubescens) eine grosse centrale Vacuole enthalten.

Wenden wir uns jetzt zu den von mir untersuchten Arten dieser Gruppe von Meeresalgen.

Laurencia obtusa (Huds.) Lamour.

Bekanntlich hat diese Alge einen stielrunden Thallus, der ziemlich oft verzweigt ist, während die Aestchen einigermassen keulenförmig aussehen. Die Cystocarpien sitzen ungestielt an den Zweigen; sie haben eine eiförmige Gestalt und besitzen ein dickes Pericarp, am Boden entspringen eine Anzahl sporigener Fäden, deren Endglieder sich zu Carposporen herausbilden; diese sind etwas länglich birnförmig. Wenn man eine ganz junge Carpospore betrachtet, so sieht man, dass sie eine grosse centrale Vacuole enthält und rund herum einen Wandbeleg von Cytoplasma, worin der Kern liegt und wahrscheinlich auch Chromatophoren, wiewohl diese

---

1) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, p. 217.

2) Schmitz, Untersuchungen über die Befruchtung der Florideen. Sitzber. der Königl. Akad. d. Wiss. z. Berlin, 1883, p. 215.

3) Schmitz, Die Chromatophoren der Algen, p. 124.

wegen ihrer Farblosigkeit nicht sichtbar sind. Während die Spore wächst, finden Verschiebungen und Ausstülpungen im Cytoplasma statt; dadurch entstehen einige Bänder und Platten, welche die Vacuole durchsetzen, wodurch der Kern mehr in die Mitte gerückt wird; dieses Stadium mit 2 Vacuolen ist in Fig. 1 auf Taf. IX abgebildet. Während die Carpospore ihr Volum vergrössert, haben die Chromatophoren zu gleicher Zeit angefangen sich zu färben, wodurch die ganze Zelle hellgelb aussieht wie in Fig. 2. Die Anzahl der Protoplasmabänder und -Platten vermehrt sich jetzt fortwährend, sodass der Kern jetzt in der Mitte der Zelle aufgehängt erscheint und die früher allein vorhandene Vacuole in eine Anzahl kleinerer getheilt worden ist (Fig. 3). Die Farbe der Chromatophoren wird jetzt mehr und mehr röthlich, und zu gleicher Zeit vermehren diese Organe sich sehr stark (Fig. 4 von der Oberfläche gesehen, im Gegensatz zu den vorigen Figuren, welche im optischen Längsschnitt gezeichnet sind). Es treten dabei immer mehr Cytoplasmaplatten auf, sodass der ganze Inhalt durch die Anzahl der Vacuolen ganz schaumförmig aussieht; jetzt wird auch der Kern und überhaupt alles, was sich im Centrum der Zelle befindet, dem Auge entzogen (Fig. 5). Die reife Carpospore ist durch die vielen Chromatophoren ganz dunkelroth und dabei das Cytoplasma sehr stark lichtbrechend; vielleicht ist letztere Erscheinung nur die Folge davon, dass es sehr stark an Masse zugenommen hat. Jedenfalls ist aber der Inhalt, und sind also auch die Vacuolen, welche jetzt etwa 3—5 μ Durchmesser haben, in den allermeisten Fällen nicht mehr zu unterscheiden. Wenn man aber mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, stirbt das Protoplasma; oft geschieht dasselbe mit den Vacuolen, weshalb es vielleicht besser ist eine etwas weniger concentrirte Salpeterlösung zu benutzen. Wenn aber die Vacuolen noch lebend sind, kann man diese durch Auswaschen mit destillirtem Wasser oder durch Erwärmen unter dem Mikroskop zum Aufschwellen bringen, wobei sie aus dem todten Protoplasma hervortreten und platzen. Eine andere Methode, um die Vacuolen dem Auge sichtbar zu machen, besteht darin, dass man, während die Carposporen in Seewasser liegen, einen Druck auf das Deckglas ausübt. Dann treten die Vacuolen zum Vorschein und verschmelzen theilweise zu grösseren; das Protoplasma stirbt,

die Chromatophoren entfärben sich, und der rothe Farbstoff löst sich in die umgebende Flüssigkeit, worin dann die Vacuolen als helle Blasen sichtbar sind; wenn man jetzt destillirtes Wasser durchführt, vergrössern sich die Vacuolen sehr stark und platzen.

An den Aestchen sieht man endständige schüsselförmige Conceptakeln, worin sich die traubenförmigen Antheridien befinden. Im jüngsten Zustande bestehen diese aus einer Zelle mit Protoplasmawandbeleg und darin gelagertem Kern und centraler Vacuole. Diese Zelle bildet durch fortgesetzte Theilung allmählich ein Büschel verzweigter kurzer Fädchen, welche alle aus einigen kurzen Zellen bestehen. Jede dieser Zellen enthält wieder eine Vacuole, durch Theilung aus derjenigen der Mutterzelle hervorgegangen; Fig. 6 stellt 3 solcher Zellen dar. Je ältere Zustände man aber untersucht, desto mehr Protoplasma enthalten diese Zellen, sodass die Vacuolen sich dementsprechend verkleinert haben. Die Endzellen werden endlich zu den Mutterzellen der Spermatien; in diesen sind die Vacuolen nicht immer deutlich zu sehen und oft nur angedeutet als hellere Stellen im Inhalte. Diese helleren Stellen könnte man bisweilen auch für den Kern halten, wie in dem in Fig. 8 a abgebildeten Falle; wenn man aber mit einer eosinhaltigen 10 proc. KNO_3-Lösung plasmolysirt, so stirbt das Protoplasma und färbt sich roth, wie aus Fig. 8b ersichtlich ist; der Kern tingirt sich dabei etwas dunkler und tritt so deutlich hervor (n), die Vacuolen (v) sind jetzt als farblose Blasen sichtbar, bei nachherigem Durchführen von Wasser schwellen sie stark an und platzen. Wenn das Spermatium reif ist, durchbricht es die Wand seiner Mutterzelle und tritt ins Freie. Diese freien Spermatien haben einen stark lichtbrechenden Inhalt, sodass vom Kern meistens nichts, und auch nur bisweilen etwas von der Vacuole sichtbar ist (Fig. 7 a—c). Plasmolysirt man sie aber mit der 10 proc. eosinhaltigen Salpeterlösung, so stirbt das Protoplasma und nimmt eine tiefrothe Farbe an; bisweilen wird jetzt durch ungleiche Contraction die Vacuole schon sichtbar, in den meisten Fällen muss man aber nachher mit Wasser auswaschen, wobei die Vacuole als helles Bläschen aus dem rothen Protoplasma hervortritt, wie in der Fig. 7d, welches dasselbe Spermatium wie Fig. 7c darstellt, nach der oben beschriebenen Behandlung; es gelingt aber nicht immer, das zu Stande zu bringen,

weil die Vacuole oft schon innerhalb des Protoplasmas stirbt. Nachher findet entweder ein Platzen des Tonoplasten statt, oder, was häufiger vorkommt, die Vacuole wird allmählich permeabel für das Eosin. Thuret[1]), welcher den Inhalt der Spermatien körnig genannt hat: „D'après mes observations, chaque cellule de l'anthéridie est occupée par un corpuscule hyalin . . . . . . Ces corpuscules, dont le contenu est un peu granuleux, etc.", giebt eine Zeichnung der Spermatien von Laurencia obtusa, wo man helle Stellen in diesen Körpern sieht.

Die Tetrasporangien liegen unter den Spitzen der Aestchen in den Unterrindenzellen; sie enthalten ein Netzwerk von starklichtbrechendem Protoplasma mit vielen Chromatophoren und Körnchen und dazwischen eine Anzahl Vacuolen. Oft sind diese sehr schwer zu sehen; sie werden dann aber sichtbar, wenn man die Sporen in eine Eosinlösung in destillirtem Wasser bringt, weil dann das Protoplasma stirbt und sich roth färbt, aber die Tonoplasten am Leben erhalten bleiben; die Vacuolen vergrössern sich dann stark und platzen, oder wenn sie daran das umliegende Protoplasma verhindert, werden sie allmählich permeabel für Eosin. Mit einer 10 proc. eosinhaltigen Salpeterlösung und nachherigem Auswaschen mit Wasser, zeigen sich die bekannten Erscheinungen, obwohl die Beobachtung oft durch die grosse Menge rothen Protoplasmas sehr schwierig wird. In jungen Tetrasporangien sah ich nur wenige Protoplasmabänder durch die Vacuole laufen und gelb gefärbte Chromatophoren; diese letzteren werden allmählich roth und vermehren sich stark; das letztere geschieht auch mit den Bändern und Platten von Cytoplasma. Darauf findet die Theilung in vier Sporen statt und der erwachsene Zustand wird bald erreicht. Gekeimte Tetrasporen zeigen zuerst in ihren Zellen denselben Inhalt, aber bald enthält jede Zelle weniger Chromatophoren und Cytoplasma, infolgedessen werden die Vacuolen deutlicher sichtbar. In späteren Zuständen enthält jede Zelle nur wenige Vacuolen, vielleicht indem dieselben theilweise verschmolzen sind, aber wohl wahrscheinlicher weil sie sich über eine so grosse Anzahl von Zellen haben vertheilen müssen.

---

1) G. Thuret, Recherches sur les Anthéridies des Cryptogames. Ann. d. Sc. Nat. 3. Sér. Bot. T. XVI p. 14 und Pl. 17.

Ich wende mich jetzt zu den Beobachtungen an fixirten und tingirten Präparaten von Laurencia; diese bestätigen im Allgemeinen die an lebenden Objecten erhaltenen Resultate. Sowohl Chromsäure wie Jodwasser fixiren in den meisten Fällen sehr gut, nur selten waren die Zellen etwas zusammengeschrumpft und deshalb nicht für die Untersuchungen zu benutzen. Die besten Tinctionen erlangte ich mit wässrigem Safranin, aber auch Haematoxilin gab gut gefärbte Objecte; ich untersuchte in Glycerin.

Die Carposporen sehen aus wie im Leben, nur ist das Protoplasmanetz fast noch deutlicher; selbst in den reifen Sporen ist dasselbe mit den dazwischenliegenden Maschen, welche im Leben die Vacuolen enthalten, zu sehen. In den Tetrasporangien und -Sporen, sieht man in allen Stadien, bis zur Reife, besonders deutlich in Safraninpräparaten die grosse Anzahl von Vacuolen. Der Zellinhalt der Antheridien war meistens ein ganz klein Bischen contrahirt; aber das schadete der Beobachtung nicht. In allen Stadien, auch in reifen Spermatien sah ich jetzt eine sehr deutliche Vacuole, während der grösste Theil des weiteren Protoplasmas eingenommen wird durch einen Kern, der sich auffallend dunkel tingirt, und besonders in Haematoxylinpräparaten deutlich hervortritt.

Ricardia Montagnei. Derb. et Sol.

Diese kleine Alge lebt epiphytisch auf Laurencia obtusa; sie hat die Gestalt von verkehrt eiförmigen Blasen, welche mit kurzem Stiel der Wirthspflanze aufsitzen. In der Beschreibung von Derbès[1]) finden sich keine Angaben über den Zellinhalt der Fortpflanzungsorgane.

Die Tetrasporangien liegen unterhalb der Rindenzellen; im jungen Zustande enthalten dieselben einen Protoplasmawandbeleg, während die centrale Vacuole von einigen Platten und Bändern aus Cytoplasma durchsetzt wird. Letztere vermehren sich fortwährend, infolgedessen enthalten die reifen Tetrasporangien sowohl wie die Tetrasporen ein Netzwerk von Protoplasma mit Chromatophoren,

---

1) Derbès, Description d'une nouvelle Espèce de Floridée. Ann. d. Sc. Nat. 4. Sér. Bot. 1856 T. V p. 209. Pl. 14.

während die Vacuolen die Maschen des Netzes einnehmen (Fig. 14). Sowohl die Farbe, wie die starke Lichtbrechung des Inhaltes machen die Vacuolen in den reifen Tetrasporen oft ganz unsichtbar; man kann aber dennoch ihre Anwesenheit beweisen, wenn man, es sei nach vorherigem Tödten des Protoplasmas mit einer 10 procentigen Salpeterlösung, oder gleich, ohne diese Manipulation vorzunehmen, die Tetrasporen in Wasser bringt, dem etwas Eosin zugesetzt ist. Die Vacuolen vergrössern sich dann, kommen aus dem rothen Protoplasma als farblose Blasen hervor und platzen bisweilen, obwohl sie mehr derart sterben, dass sie allmählich permeabel werden für Eosin.

Jedes Cystocarp enthält eine Anzahl Carposporen, welche eine birnförmige Gestalt besitzen. Die jungen Carposporen sind ganz farblos, enthalten einen Wandbeleg aus Protoplasma mit eingelagertem Kern und eine Vacuole (Fig. 9). In etwas späteren Stadien färben sich die Chromatophoren gelbroth (Fig. 10) und nachher rosenroth (Fig. 11); dabei vermehren sie sich sehr stark. Inzwischen hat auch das Protoplasma an Masse zugenommen; es bilden sich Ausstülpungen in die Vacuole, welche gegenseitig verschmelzen und derart die Vacuole in mehrere kleinere zertheilen (Fig. 10, 11, 12). Die Theilung wird weiter fortgeführt (Fig. 13), so dass die reife Carpospore ein schaumartiges Protoplasma mit vielen Vacuolen enthält. Diese sind dem Auge dann aber oft entzogen durch die starke Lichtbrechung des Protoplasmas und die dunkle Farbe der Chromatophoren. Wenn man aber mit einer 10 proc. eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, stirbt das Protoplasma fast augenblicklich; bei nachherigem Auswaschen mit dest. Wasser treten die Vacuolen theilweise aus dem Protoplasma hervor und sterben, indem sie permeabel werden für Eosin. Spermatien habe ich bei dieser Alge nicht beobachtet.

In fixirten und mit Haematoxylin oder noch besser mit Safranin tingirten Präparaten von Carposporen waren die Vacuolen noch ziemlich gut sichtbar. Die Kerne konnte ich aber nicht zu sehen bekommen; es standen mir indessen nur sehr wenig Objecte zur Verfügung.

Gelidium (Pterocladia Born.) capillaceum (Gmel.) Kütz.

Bei dieser Floridee untersuchte ich die Carposporen und ganz kurz auch die Tetrasporen. Die einfächerigen Cystocarpien bilden halbkugelige Anschwellungen auf der Fläche lanzettlicher Fädchen. Die Zellen, aus denen die Carposporen hervorgehen, enthalten zuerst nur einen Wandbeleg aus Protoplasma mit einem Kern und einigen Chromatophoren und eine grosse Vacuole. Darauf bilden sich einige Protoplasmaplatten, welche die Vacuole quer durchsetzen. Dann wird die Zelle einige Male in derselben Richtung getheilt, so dass sich 3—4gliedrige Schnüre von Carposporen bilden.

Jede junge Carpospore enthält jetzt ein Protoplasmanetz mit Vacuolen, Chromatophoren und vielen stark lichtbrechenden Körnchen; der Kern ist unsichtbar. Die Chromatophoren lagern sich jetzt in der Mitte etwas mehr zusammen; die Anzahl der lichtbrechenden Körnchen vermehrt sich, daher sind in der reifen Carpospore die Vacuolen meistens nicht zu sehen, wenn sie auch oft noch schwach durchschimmern. Wenn man sie aber in destillirtes Wasser mit Eosin bringt, färbt sich das gestorbene Protoplasma roth, während die Vacuolen anschwellen und nachher platzen. Dasselbe kann man erreichen, wenn man erst mit einer 10 proc. Salpeterlösung plasmolysirt und nachher Wasser hinzusetzt, oder unter dem Mikroskope erwärmt. Im fixirten Zustande beobachtete ich reife und fast reife Carposporen; auch nach der Tinction ist es ziemlich schwierig den Inhalt deutlich zu sehen, wegen der starken Lichtbrechung. In der Mitte aber beobachtet man eine dunkelrothe Stelle, den Zellkern, während die Vacuolen noch einigermassen sichtbar sind. Ziemlich gute Abbildungen der Carposporen findet man bei Thuret und Bornet[1]).

Die Tetrasporangien enthalten in der Jugend ein weitmaschiges Protoplasmanetz mit einigen Vacuolen; diese, ebenso wie die Chromatophoren, vermehren sich. Das Sporangium theilt sich in vier Sporen, in denen anfangs die Vacuolen noch deutlich sichtbar sind, nachher aber wegen der starken Lichtbrechung nicht mehr. Um ihre Anwesenheit zu beweisen, muss dann wieder die Salpeterlösung

---

1) Thuret et Bornet, Notes Algologiques I, p. 57, Pl. XX.

zur Hülfe genommen werden, und nachdem das Protoplasma gestorben, destillirtes Wasser zugesetzt werden, wobei die Vacuolen aus dem Cytoplasma hervortreten und platzen.

Spyridia filamentosa (Wulf.) Harv.

Ich untersuchte bei dieser Pflanze die Entwicklung der Tetrasporen; in den späteren Jahren erschien nur eine Abhandlung, worin diese besprochen werden, nämlich von Farlow[1]); dieser theilt aber über ihren Inhalt nichts mit. Die haarförmigen Aestchen von Spyridia bestehen aus einer einfachen Zellreihe, welche an den Gelenken gürtelförmig mit einer Zellschicht bekleidet ist. Diese Rindenzellen enthalten einen oft schwer sichtbaren Kern, einen Wandbeleg aus Protoplasma mit Chromatophoren und eine centrale Vacuole; bisweilen findet man auch Protoplasmafäden, durch die Vacuole verlaufend; in Fig. 15 ist die Zelle eines Aestchens mit vier Rindenzellen im optischen Querschnitt gezeichnet; aus den letztgenannten Zellen entstehen die Tetrasporangien; links unten in der Fig. 15 sieht man, dass eine Rindenzelle an der freien Aussenseite zu wachsen anfängt; der Kern (n) tritt jetzt deutlicher hervor und ist dabei im Centrum der Zelle an Plasmafäden aufgehängt. Die anfangs durch die Chromatophoren hellrothe Zelle wird jetzt allmählich blasser gefärbt, bis sie nur noch einen schwach gelben Ton hat (Fig. 16, von der Oberfläche gesehen). Nachher aber fangen die Chromatophoren an sich zu vermehren, wodurch die Farbe mehr und mehr gelbroth wird. Zu gleicher Zeit bilden sich eine Anzahl Protoplasmaplatten und -Bänder (Taf. IX, Fig. 16, Taf. X, Fig. 17 und 18, letztere im optischen Querschnitt, wobei sich der Kern n zeigt), so dass man im Augenblick der Theilung des Tetrasporangiums ein Netzwerk von Protoplasma mit dazwischenliegenden kleinen Vacuolen sieht; der Kern ist jetzt nicht mehr sichtbar. Die Chromatophoren liegen am stärksten angehäuft an den neuentstandenen Scheidewänden (Fig. 19). Die Farbe der Tetrasporen wird jetzt mehr und mehr dunkel rosenroth, und zu gleicher Zeit wird das Cytoplasma so körnig, dass allmählich die

---

1) Farlow, New England Algae., p. 140, Pl. XI.

Vacuolen dem Auge entschwinden, wie in Fig. 20, wo sie nur noch schwach durchschimmern; in reifen Tetrasporen sind sie fast gar nicht mehr sichtbar. Wenn man diese aber in eine 10 proc. eosinhaltige Salpeterlösung bringt, so stirbt das Protoplasma und wird roth tingirt; bei nachherigem Auswaschen mit destillirtem Wasser, oder Erwärmen, vergrössern sich die Vacuolen, so dass sie theilweise aus dem Cytoplasma hervortreten; darauf platzen sie. Noch leichter sieht man diese Erscheinung, wenn man die Zelle gleich in destillirtes Wasser bringt, dem ein wenig Eosin zugesetzt ist. Die reifen Tetrasporen enthalten eine sehr deutliche Hautschicht.

Mit Chromsäure lässt sich Spyridia schwer fixiren; bessere Resultate ergab die Jod-Seewassermethode, obwohl auch hier der Inhalt vieler Tetrasporangien etwas geschrumpft war. Dennoch war in den jungen Tetrasporangien das Protoplasmanetz in mit Haematoxylin tingirten und in Glycerin aufbewahrten Präparaten sehr gut sichtbar; der Kern wurde jetzt besonders deutlich. In reifen Tetrasporen war der Inhalt auch jetzt zu undurchsichtig; nur bisweilen schimmerte eine dunkelblasse Stelle durch, wahrscheinlich der Nucleolus.

Gracillaria compressa (Ag.) Grev.

Bei Gracillaria compressa sitzen die Cystocarpien kugelförmig an den Aestchen; die Carposporen entstehen aus den oberen Zellen perlschnurförmiger Fäden, und sind kugelrund. Die Zellen, woraus sich diese Fäden bilden, enthalten nur eine einzige Vacuole mit Protoplasmawandbeleg; bei der weiteren Entwicklung wird diese Vacuole durch Protoplasmaplatten in mehrere kleinere getheilt. Die reifen Carposporen enthalten derart eine grosse Anzahl Vacuolen, welche oft durch das sehr starkkörnige Protoplasma schwer sichtbar sind. Die Chromatophoren sind im Centrum der Zelle hauptsächlich um den Kern angehäuft. Wenn man die Carposporen in eine 10 proc. KNO_3-Lösung bringt, stirbt das Protoplasma, während die Vacuolen am Leben erhalten bleiben, aber bei nachheriger Erwärmung unter dem Mikroskop sich vergrössern und platzen.

Nitophyllum punctatum (Stackh.) Harv.

Bekanntlich liegen die Tetrasporangien hier an bestimmten rundlichen Flecken zwischen den Thalluszellen. Letztere sind ziemlich gross und enthalten einen Protoplasmawandbeleg mit centraler Vacuole. Bei der Entstehung eines Tetrasporangiums theilt sich die Vacuole der Mutterzelle durch Plasmaplatten in viele kleinere, während der Kern in die Mitte der Zelle rückt; dann vermehren sich auch die Chromatophoren und nehmen zu gleicher Zeit eine dunklere Färbung an. Darauf findet die Theilung in Tetrasporen statt. In den jungen Sporen sind die Vacuolen noch deutlich zu sehen, in etwas älteren Stadien ist dieses aber meist nicht mehr möglich. Wenn man aber mit einer 10proc. eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, so stirbt das Protoplasma, während der Tonoplast am Leben erhalten bleibt. Bei nachherigem Auswaschen mit destillirtem Wasser vergrössern sich die Vacuolen, werden sichtbar, indem sie aus dem Cytoplasma hervortreten, und platzen oder werden langsam permeabel für Farbstoffe.

Callithamnion granulatum (Ducl.) Ag.

Leider konnte ich die Spermatien dieser Alge nur sehr oberflächlich untersuchen. Die Körper sehen ganz homogen aus, weder ein Kern noch Vacuolen sind sichtbar. Wenn man sie aber in eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser bringt, so sterben Protoplasma und Kern, und man sieht einige helle Bläschen auftreten. Auch in einer 10 procentigen Salpeterlösung stirbt das Protoplasma; wenn man dann nachträglich mit Wasser auswäscht, so treten auch jetzt bisweilen wieder helle Bläschen auf; dieselben Erscheinungen zeigen auch die Mutterzellen der Spermatien. Es scheint mir also ziemlich wahrscheinlich zu sein, dass auch die Spermatien von Callithamnion granulatum Vacuolen enthalten.

In der jüngsten Arbeit Guignards beschreibt dieser die Vacuolen in den Spermatienmutterzellen von Callithamnion roseum und bildet dieselben auch ab[1]). In den reifen Spermatien sah er

1) L. Guignard, Développem. et Constitution des Anthérozoïdes. Revue Générale de Botanique, T. I, 1889, p. 44 des S. A. Pl. 6, Fig. 1—3.

sie nicht; er hat aber auch nur Beobachtungen an fixirtem Material angestellt.

Antithamnion cruciatum (Ag.) Näg.

Bei dieser Pflanze möchte ich, ausser den Tetrasporen, auch die vegetativen Zellen besprechen. Da ich bald sah, dass diese sich bei den Algen ganz wie bei höheren Pflanzen verhalten, habe ich ihnen im Allgemeinen keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Nur bei einigen Florideen, z. B. Hypnaea musciformis, Nitophyllum uncinatum, Plocamium coccineum und bei der hier zu behandelnden Pflanze habe ich sie genauer studirt. Ueberall fand ich, wie zu erwarten war, bis in den jüngsten Zellen rückwärts Vacuolen, welche sich einer eigenen Wand erfreuten; als Beispiel will ich hier nur Antithamnion cruciatum besprechen. Die Zellen des Hauptfadens, welche drei- bis mehrmal länger wie dick sind, enthalten oft nur eine einzige Vacuole, und rund herum einen Wandbeleg von Cytoplasma mit rothen Chromatophoren und Kern, aber dabei laufen meistens einige Protoplasmafäden in der Längsrichtung quer durch die Vacuole hindurch; in diesen Fäden sieht man sehr schön die Protoplasmaströmung stattfinden. Der Inhalt der Aestchen erster Ordnung ist fast ganz gleich denen des Hauptfadens; dagegen sind die Zellen der Aestchen zweiter und letzter Ordnung meistens eben so lang wie dick, und jetzt findet man auch hier die Protoplasmafäden und -Platten nach allen Richtungen durch die Vacuole ausgedehnt, während der Kern diesen Fäden einigermaassen als Centrum dient. Untersuchen wir ganz junge Zellen, so ist die Anzahl der Protoplasmaplatten und -Fäden und damit auch die Anzahl der Vacuolen hier viel grösser. Die allerjüngsten farblosen Zellen machen ganz den Eindruck der Meristemzellen höherer Pflanzen; das Protoplasma der Scheitelzelle ist oft sehr undurchsichtig und in Folge dessen ist es bisweilen sehr schwer die Vacuolen zu entdecken; diese sind sehr klein und umlagern den Kern. In einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung stirbt das Protoplasma ganz plötzlich, so dass es sich gar nicht contrahirt; dagegen nehmen die noch lebenden Vacuolen in der Form einiger farbloser Kugeln die Mitte der Zelle ein; wenn man jetzt anstatt der Salpeterlösung Wasser hinzusetzt, so vergrössern sich diese Vacuolen sehr stark

und platzen darauf. In diesen Scheitelzellen konnte ich übrigens auch Vacuolentheilung beobachten.

Die Tetrasporangien[1]) entstehen, indem eine Zelle eines Aestchens eine Ausstülpung bildet, welche darauf durch eine Zellhaut von der Mutterzelle geschieden wird. Diese neue Zelle theilt sich noch einmal durch eine Querwand, und jetzt wird die obere Zelle zum Tetrasporangium. Zuerst enthält dieses nur einige grosse Vacuolen, während die Chromatophoren wegen ihrer Farblosigkeit nicht sichtbar sind. Während das Sporangium wächst, bilden sich neue Protoplasmabänder und -Platten, so dass die Anzahl der Vacuolen bald sehr gross wird; zu gleicher Zeit vermehren sich auch die Chromatophoren, und werden dabei allmählich roth. Letztere Erscheinung, gefügt zu der grossen Masse dichten Protoplasmas, macht den Inhalt bald schwer sichtbar, besonders nachdem das Sporangium sich in die vier Tetrasporen getheilt hat. In den reifen Tetrasporen sind die Vacuolen oft nicht mehr zu sehen; wenn man sie aber in eine 10 procentige Salpeterlösung bringt, der etwas Eosin zugesetzt ist, so stirbt das Protoplasma auf einmal und färbt sich roth, die Vacuolen bleiben aber am Leben. Wenn man jetzt an Stelle der Salpeterlösung destillirtes Wasser zufügt, vergrössern sich die Vacuolen und werden derart sichtbar; nachher platzen sie.

Zusammenfassung.

Wenn wir jetzt die beobachteten Thatsachen bei den Florideen zusammenfassen, dann zeigt sich als allgemeines Resultat, dass sich auch dort die Vacuolen nur durch Theilung vermehren. Daneben stellte sich heraus, dass die jungen Tetrasporen und Carposporen meist wenig Protoplasma und eine oder ein Paar Vacuolen enthalten; während der Entwicklung dieser Zellen vermehrt sich die Quantität des Protoplasmas sehr stark, zur selben Zeit vermehren sich die Chromatophoren und Vacuolen durch Theilung. In den reifen Tetrasporen und Carposporen sind die Vacuolen durch die grosse Menge von Protoplasma und die dunkelrothe Farbe oft schwer sicht-

1) In seiner ausführlichen Beschreibung erwähnt Nägeli (Ceramiaceen, Sitzungsber. der Königl. Akad. d. Wiss., München, 1861) den Inhalt der Tetrasporen nicht.

bar. Die Spermatien scheinen eine einzige oder ein Paar Vacuolen zu enthalten, durch Theilung aus der Vacuole der Mutterzelle entstanden; auf die Spermatien komme ich übrigens noch näher zu sprechen, wenn ich die Spermatozoiden der Fucaceen behandele. Die vegetativen Zellen, auch die allerjüngsten, enthalten ganz allgemein Vacuolen.

III. Fucaceae.

Litteratur.

Die ziemlich ausgedehnte Litteratur über die Generationszellen der Fucaceen bezieht sich hauptsächlich auf die Gattung Fucus und deren nächste Verwandten. Ich beschäftigte mich hingegen mit Cystosira und Sargassum. Wie mir aber aus den Beschreibungen und Abbildungen hervorzugehen scheint, verhalten sich diese ganz so wie Fucus selbst, so dass ich also dasjenige, was die verschiedenen Autoren über den Inhalt der Eizellen und Spermatozoiden mitgetheilt haben, hier kurz hervorheben will.

Während in der ersten Abhandlung über die Sexualität von Fucus, Decaisne und Thuret[1]) sich nicht über den Inhalt der Sexualzellen äussern, theilt Thuret[2]) nachher mit, dass das Oogonium sich aus einer Zelle der Wand des Conceptaculums bildet, welche sich vergrössert und sich bald darauf theilt, wobei die untere Zelle zur Stielzelle wird, während die obere einen mehr und mehr körnigen Inhalt bekommt, dabei brauner gefärbt wird und zum Oogonium wird. Die reife Eizelle ist olivenbraun mit einer helleren centralen Partie; die allbekannten schönen Figuren illustriren das Gesagte. In seinen späteren Publicationen[3]) hat Thuret den Inhalt der Eizellen nicht weiter berücksichtigt. Andere Beobachter,

---

1) Decaisne et Thuret, Sur les anthéridies et les spores de quelques Fucus. Ann. d. Sc. Nat. 3. Sér. Bot. T. III, 1845, p. 5.

2) Thuret, Recherches sur la fécondation des Fucacées. Ann. d. Sc. Nat. 4. Sér. Bot. T. II, 1854, p. 197.

3) Thuret, Deuxième note sur la fécondation des Fucacées. Mém. de la soc. imp. de Sc. Nat. de Cherbourg, T. V, 1857, Avril.

wie Pringsheim[1]), haben auch nicht viel mehr über diesen Gegenstand publicirt. Schmitz[2]) hat es sehr wahrscheinlich gemacht, dass die rothbraunen Punkte der Spermatozoiden aus den Chromatophoren hervorgegangen sind. Strasburger[3]) gab eine sehr genaue Beschreibung der Copulationsvorgänge bei Fucus vesiculosus und platycarpus. Er erwähnt dort, dass Zellkerne in den Antheridien und Spermatozoiden nicht ohne weiteres zu sehen sind, sondern erst nach der Behandlung mit geeigneten Tinctions- und Fixirungsmitteln sichtbar werden. Nicht das gesammte Protoplasma des Antheridiums wird zur Bildung der Spermatozoiden verwendet; es bleiben zwischen denselben stets unverbrauchte, sich nicht tingirende Plasmatheile zurück. Die Oogonien sind gelbbraun und des reichen Inhalts wegen fast undurchsichtig, während sie in jüngeren Stadien an der Peripherie farblos sind, mit durchscheinendem Fleck in der Mitte. Erst nach vollendeter Theilung verbreitet sich die braune Färbung gleichmässig über den ganzen Inhalt der Eier. Mit Alkohol fixirte und mit Haematoxilin tingirte Präparate zeigen einen annähernd central gelegenen Zellkern, welcher relativ klein ist, und mit einem Kernkörperchen versehen. Eine spätere ausführliche Mittheilung über die Befruchtung bei Fucus vesiculosus findet man in einer aus dem Laboratorium Reinke's hervorgegangenen Arbeit von Joh. Berens[4]). Ich hebe folgendes aus seiner Abhandlung hervor: Die Mutterzelle der Antheridien kennzeichnet sich durch eine grosse Masse Protoplasma, in dem Vacuolen fast vollständig fehlen. Man findet Chromatophoren, welche sich durch Theilung vermehren. Der Kern theilt sich öfters, bis 64 Kerne fast den ganzen Zellraum ausfüllen, indem sie nur durch dünne Plasmafäden unter sich verbunden sind; die Chromatophoren sind in derselben Anzahl vorhanden wie die Kerne. Darauf verschwinden die Plasmafäden, die Chromatophoren lagern sich den Kernen an, welche letztere jetzt durch eine hyaline Substanz geschieden sind. Die derart entstan-

1) Pringsheim, Monatsber. der Königl. Akad. d. Wiss., Berlin, 1855, p. 12—16.

2) Schmitz, Die Chromatophoren der Algen, 1882, p. 122.

3) Strasburger, Botanisches Praktikum, 1884 (1. Aufl.), p. 387—393.

4) Joh. Berens, Beitrag zur Kenntniss der Befruchtungsvorgänge bei Fucus vesiculosus. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. Bd. IV, 1886, p. 92—103.

denen Spermatozoïden enthalten jetzt alle einen Kern, einen braunrothen Augenpunkt (Chromatophor) und einen Protoplasmamantel mit Cilien. Das junge Oogonium ist dicht erfüllt mit körnigem Protoplasma. Die Stielzelle enthält einen centralen Kern und einen Protoplasmawandbeleg; dagegen besitzt das Oogonium keine Vacuolen, nur Tropfen einer ölartigen Flüssigkeit; das Innere ist aber, wegen der vielen Chromatophoren, sehr schwer sichtbar. Zuletzt findet eine Kerntheilung statt, bis acht Kerne sich gebildet haben, worauf auch der Protoplast in acht Eier getheilt wird. Am Ei ist eine Hautschicht immer vorhanden; innen befindet sich ein Protoplasmanetz von fädiger Structur, wozwischen homogenes Protoplasma liegt. Die Chromatophoren sind hauptsächlich um den Kern gelagert. Nach der Befruchtung, wenn die Kerne sich vereinigt haben, verdoppelt die Eizelle ihr Volumen durch Vacuolenbildung, darauf wird eine Zellhaut ausgeschieden. Endlich erschien soeben eine Abhandlung von Guignard[1]) über die Entstehung der Spermatozoïden der Fucaceen. Daraus geht hervor, dass die Kerne nur den kleinsten Theil der Körper der Spermatozoïden bilden. Der Augenfleck scheint auch nach seinen Mittheilungen aus den Chromatophoren hervorzugehen. Ausser den Cilien hat er die weiteren Organe des Protoplasmas nicht beachtet, und sich dabei auch nur mit fixirten Präparaten beschäftigt. Die Protoplasmamenge, welche nach Strasburger, nach der Entleerung der Spermatozoïden im Antheridium übrig bleibt, fand Guignard nur in ganz minimalen Mengen auf.

Nach diesen einleitenden Betrachtungen werde ich jetzt zu meinen eigenen Untersuchungen übergehen.

Cystosira abrotanifolia. Ag.

Bekanntlich sind die Cystosiren hermaphroditisch, und enthalten die Oogonien nur eine einzige Oosphaere. Wir wollen zuerst die Entwicklung dieser Oosphaeren näher untersuchen.

Ein ganz junges Oogonium enthält einen Protoplasmawandbeleg

---

1) L. Guignard, Développement et Constitution des Anthérozoides, Fucacées. Revue générale de Botanique, 1889, T. I, p. 34 des S. A. Pl. 5.

und eine grosse Vacuole; von dem Wandbeleg aus laufen einige Protoplasmafäden nach einer centralen Partie, wo wahrscheinlich der Kern liegt; dieser ist aber unsichtbar, indem sich die Chromatophoren zum grössten Theil in dieser centralen Masse angehäuft haben, so dass diese gelbbraun gefärbt ist (Fig. 21). Bei der Weiterentwickelung wird die Menge des Protoplasmas allmählich grösser; theilweise sammelt sich dieses Protoplasma um den Kern an, wo inzwischen auch die Chromatophoren sich langsam vermehren, anderentheils entstehen fortwährend neue Protoplasmafäden und -Platten, welche die Vacuolenflüssigkeit durchsetzen, so dass man bald eine ziemliche Anzahl Vacuolen in dem Oogonium finden kann; in Fig. 22, 23 und 24 sind einige derartige aufeinanderfolgende Zustände abgebildet worden. Dieser Process wird weiter fortgesetzt bis zur Reife der Eizelle; dabei vermehren sich auch die Chromatophoren fortwährend, bleiben aber dabei immer im Centrum der Zelle gelagert, so dass man sehr bald die Vacuolen nur noch an der Peripherie der Zelle liegen sieht (Fig. 24). Man bemerkt aber doch, dass zu äusserst meistens die grössten Vacuolen liegen, während diese nach der Mitte zu fortwährend kleiner werden. Als ich ein Oogonium in diesem Zustande mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirte, zog sich der ganze Protoplast von der Wand zurück und tingirte sich roth; an der Peripherie waren aber die Vacuolen noch sichtbar. Darauf wurde mit destillirtem Wasser ausgewaschen, jetzt vergrösserten sich die Vacuolen, verschmolzen theilweise mit einander und platzten darauf. In späteren Entwickelungsstadien wird jetzt auch das Protoplasma sehr stark lichtbrechend, die Vacuolenflüssigkeit bekommt einigermassen dieselbe Eigenthümlichkeit, sie scheint etwas schleimig zu werden, und dabei treten jetzt grosse Mengen lichtbrechender Körnchen auf, so dass der Inhalt der Zelle sehr schwer sichtbar wird und es sich sehr gut begreifen lässt, dass man die Eizellen der Fucaceen für vacuolenfrei gehalten hat. Selbst wenn man jetzt die bekannte 10 procentige Salpeterlösung anwendet und nachher Wasser zusetzt, ist es sehr oft noch ganz unmöglich, genau zu unterscheiden, was man vor sich hat; man sieht Massen, welche anschwellen, verschmelzen, es tritt ein Platzen ein, aber die grosse Quantität Protoplasma verhindert jede genauere Beobachtung. Wenn es aber ge-

lingt, die Inhaltsmasse in die umgebende Flüssigkeit austreten zu lassen, so werden die Vacuolen dennoch sichtbar. Als Beispiel führe ich folgenden Fall an: Eine fast reife Eizelle enthielt einen stark lichtbrechenden Protoplasten, die ganze Mitte war dagegen dunkel gelbbraun gefärbt; die Vacuolen waren nicht sichtbar. Ich plasmolysirte mit einer eosinhaltigen 10 procentigen Salpeterlösung; der ganze Protoplast contrahirte sich, starb aber nicht. Erst als ich eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser zusetzte, färbte sich auf einmal die ganze Masse rothbraun (braun durch die Chromatophoren); dabei wurde ihr Volumen ansehnlich grösser, so dass die Zelle platzte und der grösste Theil des Inhalts ausserhalb der Zelle in der Eosinlösung zu liegen kam. Es waren dunkelrothe und braunrothe Protoplasmamassen, worin ich jetzt sehr deutlich die Vacuolen als farblose Blasen liegen sah; diese vergrösserten sich allmählich und platzten, zuerst diejenigen an der Peripherie und nachher auch die, welche im Innern lagen. Es gelingt bisweilen auch, die Vacuolen sichtbar zu machen, wenn man durch einen Druck auf das Deckglas die Zelle zerquetscht. Die Anwesenheit der Vacuolen zeigte sich mir aber in zwei Fällen sehr deutlich, ohne dass das Protoplasma der Zellen in irgend einer Weise geschädigt worden war. Es waren nämlich Eizellen, welche aus ihrer Haut hervorgetreten waren und sich jetzt durch eine enge Oeffnung hindurchzwängten; dabei mussten sie sich natürlich stark verschmälern, nahmen aber, sowie sie ausserhalb der Oeffnung waren, wieder Kugelgestalt an, und zeigten sich nachher völlig intact, indem sie kein Eosin aufnahmen. In dieser engen Oeffnung konnte ich jetzt natürlich eine sehr dünne Protoplasmaschicht untersuchen, und dort sah ich die Vacuolen sehr deutlich; die kleineren gingen einfach mit durch, die grösseren dehnten sich sehr in die Länge und wurden wieder kugelförmig wie sie aus der Oeffnung hervortraten, so dass sie bisweilen die Gestalt einer langen dünnen Röhre hatten, mit zwei kugelförmigen Anschwellungen an beiden Seiten. In einigen reifen Eizellen, wie die in der Fig. 25 abgebildete, konnte ich die Vacuolen schwach durchschimmern sehen; auch hier gelingt es dieselben sichtbar zu machen nach der Plasmolyse mit einer 10 proc. Salpeterlösung und nachherigem Auswaschen mit Wasser, wenn dabei die Zelle geplatzt ist, und also das Protoplasma in die um-

ringende Flüssigkeit ausgetreten. Ausserdem sieht man, dass in Fig. 25 die ganze Eizelle gleichmässig braun gefärbt ist. In der reifen Eizelle wandern die Chromatophoren nämlich vom Centrum mehr nach der Peripherie hin, so dass sie einen Augenblick strahlenförmig angeordnet scheinen, während nachher die ganze Zelle gleichmässig braun gefärbt erscheint; ob das vor oder nach der Befruchtung geschieht, ist mir unbekannt. Ich beobachtete auch einige junge Keimpflänzchen aus zwei, vier und mehr Zellen bestehend. Zuerst ist der Inhalt dieser Zellen dem der Eizelle noch ganz gleich; allmählich aber vermindert sich die Anzahl der Vacuolen, wohl indem diese sich über mehrere Zellen vertheilen müssen; vielleicht finden auch Verschmelzungen von Vacuolen statt. Dabei kommt noch, dass der Zellinhalt fortwährend deutlicher sichtbar wird, indem die starke Lichtbrechung des Protoplasmas abnimmt. Bei einer Keimpflanze, etwa in dem Zustande, wie Valiante sie in seiner Fig. 6 auf Taf. I abbildet[1]), enthielt jede Zelle etwa 3—6 Vacuolen, wobei ich in der bekannten Art die Anwesenheit eines lebenden Tonoplasten zeigen konnte. In fixirten Präparaten fand ich den Inhalt des Oogoniums oft contrahirt, besonders nach der Härtung mit Jod-Seewasser; Chromsäure gab bessere Resultate. Wenn gut fixirt ist, findet man die Vacuolen fast in jedem Entwickelungsstadium, genau wie ich es für das lebende Object beschrieben habe. Dabei zeigt sich jetzt auch nach Tinction, besonders bei Anwendung von Haematoxylin, in der Mitte der Kern, der als dunkler Fleck hervortritt.

Wenden wir uns jetzt zu den männlichen Organen der Cystosiren. Die Antheridien entstehen als Verzweigungen der Haare in den Conceptakeln; in sehr jungem Zustande besitzen sie also auch noch genau denselben Zellinhalt wie die Zellen dieser Haare; man sieht dann einen ziemlich grossen Kern im Centrum, der aber vorher dem Protoplasmawandbeleg eingelagert war und erst nachträglich diese Stellung einnimmt, und von hier aus einige Protoplasmafäden und Platten durch die Vacuole nach dem Wandbeleg laufen. Diese Cytoplasmaplatten vermehren sich aber sehr rasch; bisweilen ist es daher schwer, irgend ein Antheridium genau zu zeichnen, weil unterdessen

---

1) Valiante, Le Cystosire, Fauna und Flora des Golfes von Neapel, VII.

ähnliche Veränderungen im Zellinhalt stattfinden. So waren z. B. in der Fig. 26 die Vacuolen α und β, wie ich anfing zu zeichnen, noch [illegible]. Durch diese Veränderungen, wobei sich auch die Quantität des Protoplasmas vermehrt, nehmen die Vacuolen auch an Zahl zu und werden dabei entsprechend kleiner, wie aus den Figuren 27 und 28 hervorgeht. Endlich hat ihr Volumen so weit abgenommen, dass sie nur noch mit sehr starken Linsen sichtbar sind (Fig. 29 und 30). Um diese Zeit wird das Protoplasma jetzt stärker lichtbrechend und körniger, und der Inhalt wird deshalb viel undeutlicher; jetzt wird auch der Kern unsichtbar, wohl indem er angefangen hat, sich zu theilen. Wenn man ein derartiges Antheridium in eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser bringt, so färbt sich das Protoplasma gleich roth, die kleinen Vacuolen vergrössern sich stark und platzen; darauf sieht man im Innern deutlich eine Anzahl runder Kugeln liegen, offenbar die vorher durch Theilung aus dem ursprünglich vorhandenen hervorgegangenen Zellkerne. Wenn plasmolysirt wird, so zeigt sich immer eine dünne hyaline Hautschicht, welche den ganzen Protoplast umgiebt. In einem etwas späteren Stadium ist der ganze Inhalt des Antheridiums gekammert, indem feine körnige Linien auf seiner ganzen Fläche sichtbar sind; Fig. 31 a zeigt eine solche Zelle. Ich plasmolysirte diese mit der eosinhaltigen 10procentigen Salpeterlösung; das Protoplasma starb nicht, die Hautschicht wurde aber dabei gut sichtbar, und diese zeigte einen Zusammenhang mit den Linien, welche die zukünftigen Spermatozoiden von einander schieden; aus Fig. 31 b, wo ich ein kleines Stückchen des Zellinhalts gezeichnet habe, ergiebt sich aber, dass diese Linien jetzt nicht mehr körnig, sondern hyalin waren. Als ich darauf eosinhaltiges destillirtes Wasser zusetzte, färbte sich das Protoplasma auf einmal roth (die Hautschicht aber fast gar nicht); es wurden dabei kleine farblose Bläschen sichtbar, welche sich vergrösserten und wovon einige platzten; woher diese stammten, konnte ich nicht constatiren. Im darauffolgenden Stadium ist der ganze Protoplast durch hyaline Linien in eine Anzahl kleiner Theilchen getheilt; er zieht sich dabei von der Zellhaut etwas zurück, so dass er eine maulbeerförmige Gestalt annimmt. Endlich sondern sich die verschiedenen Theile von einander, so dass man im reifen Antheridium eine Anzahl (wahrscheinlich 64) ganz kleiner,

ziemlich stark lichtbrechender Protoplaste liegen sieht (Fig. 32, wo ausserdem die Sonderung der Zellhaut in Exine und Intine sichtbar ist). Enthalten diese jetzt Vacuolen? Das ist eine Frage, die sehr schwer zu beantworten ist und worauf ich keine sichere Antwort geben kann. Die früheren Vacuolen müssen natürlich irgendwo hingekommen sein; es wäre möglich, dass noch ein Protoplasmarest anwesend ist, wie es Strasburger für Fucus angiebt, dieser ist aber im lebenden Zustande nicht zu sehen, könnte aber immerhin inmitten der jungen Spermatozoiden liegen; dann könnte dieser auch die Vacuolen enthalten. Die Theilung wäre dann nur dazu erfolgt, um dem Kern eine leichtere Gelegenheit zu geben, die 64 Tochterkerne zu bilden; wenn aber dieser Protoplasmarest nicht vorhanden ist, so müssen die Vacuolen in den Spermatozoiden enthalten sein, aber dann so klein, dass sie auch mit den stärksten Linsen nicht von den übrigen Körnchen des Protoplasmas unterschieden werden können. Das Experiment ist hier eben wegen der Kleinheit der Objecte nicht entscheidend; wenn man mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, so färbt sich alles Protoplasma dunkelroth; wird dann nachher mit einer Eosinlösung in destillirtem Wasser ausgewaschen, so sieht man bisweilen in der Mitte des jungen Spermatozoids eine kleine Höhlung entstehen, oder ein paar Male sah ich auch am Rande einen farblosen Saum auftreten (wie in Fig. 33), der nachher zusammenschrumpfte; das könnte natürlich eine Vacuole gewesen sein, aber ein sicheres Urtheil wage ich doch nicht auszusprechen, da es selbst mit der Oelimmersion $^1/_{16}$ von Leitz sehr schwierig war, genau zu sehen, ob dieses Bläschen in der rothen Eosinlösung liegend farblos war oder nicht. Mit reifen schwärmenden Spermatozoiden zu experimentiren ist natürlich noch viel schwieriger, besonders da man hier einige Male Flüssigkeit unter dem Deckglas durchsaugen muss; wenn es bisweilen einmal gelingt, ein Spermatozoid festzuhalten, so zeigen sich dieselben Erscheinungen, wie wenn dasselbe noch im Antheridium liegt, so dass also die Frage auch hier schwerlich beantwortet werden kann. Meine Ueberzeugung ist, dass die Spermatozoiden wohl Vacuolen enthalten, dass diese aber einigermassen rudimentär geworden sind; darauf komme ich nachher noch näher zu sprechen.

bringen, wenn man die Antheridien gleich in die Eosinlösung bringt und die Salpeterlösung nicht anwendet. In beiden Fällen ist es vielleicht noch besser, das Eosin ganz wegzulassen, weil die dunkelrothe Tinction, welche das Protoplasma mit diesem Farbstoff annimmt, die Vacuolen oft ziemlich schwer sichtbar machen lässt. In einem folgenden Entwickelungsstadium wird der Kern unsichtbar, indem er sich theilt. Darauf zieht sich der ganze Protoplast etwas von der Wand zurück, wobei die Hautschicht sehr deutlich zu sehen ist; in einem Falle sah ich jetzt von der Hautschicht aus körnige Linien in's Innere des Protoplasten verlaufen; diese Linien scheinen irgendwo blind zu endigen; dieser Fall ist in Fig. 37 abgebildet. Das Protoplasma scheint auf diese Art in eine Anzahl Partieen getheilt zu werden, welche aber viel grösser sind wie die reifen Spermatozoiden. Wie diese letzteren entstehen, konnte ich nicht feststellen, da das folgende Stadium, welches ich beobachtete, mir ein reifes Antheridium mit Spermatozoiden gefüllt vor Augen brachte. Das weitere Schicksal der Vacuolen habe ich hier nicht besprochen, weil mir die Sache beinahe ebenso unklar ist wie bei Cystosira abrotanifolia. Immerhin sind die Spermatozoiden von Sargassum etwas grösser wie diejenigen von Cystosira, und wirklich schien es mir einige Male auszusehen, als wenn dieselben einen oder einige sehr wenig lichtbrechende Stellen enthielten, welche Aehnlichkeit hatten mit Vacuolen. Bei der Behandlung mit einer Eosinlösung in destillirtem Wasser färbt sich der Körper des Spermatozoids auf einmal roth; bisweilen sieht man jetzt ein oder einige farblose Bläschen sichtbar werden, welche nachher zusammenschrumpfen (Fig. 37a); ob das aber normale Vacuolen waren, vermag ich nicht zu sagen, besonders da die Anwendung der Eosinsalpeterlösung und nachheriges Auswaschen mit destillirtem Wasser mir eine ähnliche Erscheinung nie zu Gesicht führten. Man muss aber auch hier wieder bedenken, wie schwer es ist, auf schwärmende Spermatozoiden zu reagiren, noch ganz abgesehen von ihrer Kleinheit.

Fixirte Präparate, sowohl von Oogonien wie von Antheridien, ergaben im Allgemeinen dieselben Resultate wie bei Cystosira, nur war die Fixirung mir leider nicht so gut gelungen, und dabei hatte ich nicht so viel verschiedene Entwickelungsstufen in dem fixirten Material wie bei Sargassum; es fehlten mir u. a. gekeimte Eizellen

oder ganz reifen Eizellen ist also der Inhalt ganz undurchsichtig geworden; daher sind die Vacuolen meist nicht oder schwer sichtbar. Wenn man aber eine derartige Zelle in destillirtes Wasser bringt, dem etwas Eosin zugesetzt ist, so färbt sich das Protoplasma sehr bald dunkelroth; dabei schwillt die ganze Masse an, bis die Zellhaut platzt. Das rothe Protoplasma kommt dann mit vielen Vacuolen in der umgebenden Flüssigkeit zu liegen; die Vacuolen vergrössern sich stark, verschmelzen theilweise und platzen endlich. Diese Erscheinung sieht man zuerst bei den äusseren, nachher auch bei den mehr nach innen gelegenen Vacuolen stattfinden, oder letztere platzen nicht, indem sie von den umliegenden Protoplasmamassen daran gehindert werden; dann sterben sie ganz langsam, indem sie allmählich für die Eosinlösung permeabel werden. Dieselben Erscheinungen kann man hervorrufen, wenn man eine 10procentige eosinhaltige Salpeterlösung anwendet und nachher mit destillirtem Wasser auswäscht.

Die jungen Antheridien enthalten gewöhnlich ein paar Vacuolen, während der Kern seitwärts liegt; bisweilen ist nur seine Lage durch eine Protoplasmaansammlung angedeutet, oft ist er auch ganz unsichtbar. Die Vacuolen werden jetzt durch Protoplasmaplatten getheilt, und zur selben Zeit rückt der Kern mehr in die Mitte der Zelle; dieses Stadium ist in Fig. 34 auf Taf. XI abgebildet. Durch weitere Theilung bildet sich also ein feines Protoplasmanetz, wo der Kern das Centrum einnimmt und die Vacuolen in den Maschen liegen (Fig. 35), und zuletzt ist das Cytoplasma ganz in den schaumförmigen Zustand übergegangen (Fig. 36). Die Vacuolen sind jetzt so klein geworden, dass man sie nur mit Hülfe von sehr starken Linsen sehen kann; dabei wird jetzt auch das Protoplasma stärker lichtbrechend, so dass man bald nur noch den Kern inmitten einer körnigen Masse liegen sieht. Wenn man aber in diesem Zustande erst mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt und darauf diese Flüssigkeit durch eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser ersetzt, so stirbt das Protoplasma, indem es sich roth tingirt, die Vacuolen vergrössern sich und werden derart sichtbar; oft platzt jetzt die Zellhaut des Antheridiums und die Vacuolen treiben frei herum in der Eosinlösung als farblose Blasen; darauf platzen sie. Eine ähnliche Erscheinung kann man zu Stande

Vacuolen enthalten. Jedenfalls enthalten die jungen Antheridien Vacuolen; diese verkleinern sich sehr stark; ihr weiteres Loos ist unbekannt. Ich glaube, dass es auch von verhältnissmässig geringem Interesse ist zu wissen, was mit den Vacuolen geschieht. Dazu müssen wir uns den Befruchtungsprocess einen Augenblick vor Augen stellen. Bekanntlich besteht das Wesen der Befruchtung in der Copulation des männlichen und weiblichen Kernes[1]), und scheint eine Copulation der andern Organe des Protoplasmas nicht stattzufinden. Nur die mütterliche Zelle braucht also diese Organe zu enthalten, die väterliche Zelle braucht nur aus einem Kern zu bestehen, der dann aber etwa noch von einer schützenden Hülle gegen das Medium umhüllt und mit Bewegungsorganen versehen ist. Bei den höheren Cryptogamen ist das wirklich der Fall; dies war schon vor vielen Jahren Schacht[2]) bekannt, ist aber in neuerer Zeit festgestellt worden für Gefässcryptogamen von Campbell[3]), für diese, die Moose und die Characeen aber besonders vor Kurzem durch die schönen Untersuchungen von Guignard[4]). In allen diesen Fällen wird der Haupttheil des Cytoplasmas, welches dann auch die Vacuolen und Chromatophoren enthält oder wenigstens enthalten kann, sowie das Spermatozoid in Freiheit gekommen ist, in der Form einer Blase abgeworfen. Dagegen sind bei der Zygosporenbildung die beiden copulirenden Zygoten vollkommen gleich, wenn zwar auch dort das Wesen der Befruchtung in der Verschmelzung der beiden Kerne gesucht werden muss. Da die Spermatozoiden sich natürlich phylogenetisch aus den Zygoten entwickelt haben müssen, so werden alle möglichen Uebergänge zwischen einem Spermatozoid, bestehend aus Kern, Chromatophoren, Vacuolen, Körnerplasma und Hautschicht, und einem andern, welches nur einen Kern und vielleicht eine Hautschicht enthält, bestanden haben, und vielleicht noch bestehen. Für die Chromatophoren sind solche

---

1) Siehe hierzu auch die ausführlichen Betrachtungen von de Vries in Intercellulare Pangenesis, p. 166 ff.

2) Schacht, Die Spermatozoiden, 1864, p. 35.

3) Douglas H. Campbell, Zur Entwickelungsgeschichte der Spermatozoiden, Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch., 1887, p. 120, und: The development of Pilularia globulifera, Ann. of Botany, Vol. II, No. VII, 1888, p. 233.

4) Guignard, Développement et constitution des Anthérozoides, Revue générale de Botanique, T. I, 1889, p. 1.

Zwischenstufen in Masse von Schmitz[1]) gefunden worden; es ist jetzt nur noch fraglich, wie es sich mit den Vacuolen verhält. Wir haben schon gesehen, dass die Spermatien, wenigstens bei Laurencia obtusa und wohl auch bei Callithamnion granulatum, Vacuolen enthalten; es ist natürlich möglich, wenn auch nicht wahrscheinlich, dass diese Organe den Spermatien anderer Florideen fehlen; immerhin würde die früher citirte Angabe von Schmitz dafür sprechen. Anders scheint es sich bei den Fucaceen zu verhalten; wenn auch die Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen ist, dass die durch Theilung entstandenen, winzigen Vacuolen nachher in einem Protoplasmarest sich sammeln, der bei der Theilung des Antheridiuminhalts in Spermatozoiden übrig bleiben könnte, wenigstens nach der Mittheilung Strasburger's[2]) bei Fucus platycarpus wirklich übrig bleibt, so scheint es mir dennoch vielmehr, dass wir hier eben den Process des Rudimentärwerdens der Vacuolen vor uns haben, und dass dieses Ursache davon ist, dass es uns so schwer gelingt, die Vacuolen in den Spermatozoiden entweder zu sehen oder dieselben mittelst Reagentien sichtbar zu machen. Dass die Vacuolentheilung hier überhaupt noch stattfindet, würde sich dann erklären als eine seit einer langen Reihe von Vorfahren ererbte Eigenschaft, indem die Spermatozoiden der Fucaceen abstammen von Zoosporen, welche durch Vielzellbildung entstanden, im Gegensatze zu den Spermatozoiden der Characeen, Moose und Gefässcryptogamen, welche dann abstammen würden von Zoosporen, welche durch Vollzellbildung entstanden sind; vielleicht schliessen sich die Spermatien der Florideen der letztgenannten Reihe an.

IV. Dictyotaceae.

Dictyota dichotoma (Huds.) Lamour.

Von den Dictyotaceen untersuchte ich lebend nur ganz flüchtig die Entwickelung der Tetrasporen von Dictyota dichotoma; im fixirten Zustande konnte ich aber die Beobachtungen, an lebendem

1) Schmitz, Die Chromatophoren der Algen, p. 120 ff.
2) Strasburger, Botanisches Praktikum, 1884, I. Aufl., p. 389, 390.

Material gemacht, weiter ausdehnen. Wir finden in der Litteratur ein paar Angaben über den Zellinhalt der Tetrasporangien. Nägeli[1]) sagte: „Der Zellinhalt ist ursprünglich ein farbloser, homogener Schleim, der körnig wird und dann Chlorophyllbläschen, Amylumkügelchen und Oeltröpfchen bildet. Im Centrum einer jeden Zelle liegt ein freier Kern.“ Vor etwa einem Jahrzehnt theilte Reinke Folgendes von den Tetrasporangien mit[2]): „Einzelne Epidermiszellen vergrössern sich, füllen sich mit dichtkörnigem Inhalt, strecken sich über die Laubfläche empor und theilen sich dann durch eine Querwand.“

Im lebenden Zustand enthalten die Thalluszellen einen Protoplasmawandbeleg mit eingelagerten Chromatophoren, und von dort aus einige Protoplasmafäden, welche die centrale Vacuole durchsetzen und sich dem Kern, der in der Mitte der Zelle aufgehängt ist, anheften; durch die Figur von Thuret[3]) waren diese Verhältnisse übrigens schon längst bekannt. Die Epidermiszellen verhalten sich ganz ähnlich, wenn es auch viel schwieriger ist, sich dort über den Inhalt ein Urtheil zu bilden. Wenn solch eine Epidermiszelle ein Tetrasporangium bilden wird, fängt sie an zu wachsen; dabei sah ich die Protoplasmaplatten und -Fäden sich vermehren; zu gleicher Zeit wird aber das Protoplasma viel stärker lichtbrechend und körniger, und dabei findet eine so grosse Zunahme der Chromatophoren statt, dass die Farbe der Zellen dunkel-, beinahe schwarzbraun wird. Diese Eigenthümlichkeiten machen die Veränderungen, welche sich im Inhalte des Tetrasporangiums abspielen, ganz unsichtbar; ich konnte aber dennoch in verschiedenen Stadien, einmal auch in einem schon in Tetrasporen getheilten Sporangium, die Anwesenheit mehrerer Vacuolen beweisen, indem ich mit einer eosinhaltigen 10procentigen Salpeterlösung plasmolysirte; dabei wurde der ganze Zellinhalt dunkelroth. Als ich aber nachher die Flüssigkeit durch eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser ersetzte, kamen an verschiedenen Stellen die farblosen Vacuolen aus dem

1) Nägeli, Die neueren Algensysteme, Zürich, 1847, p. 186.

2) Reinke, Entwickelungsgeschichtl. Unters. über die Dictyotaceen des Golfes von Neapel, N. A. K. L. D. A. N., Bd. XL, No. 1, p. 7.

3) Thuret, Recherches la fécondation des Fucacées et les Anthéridies des Algues, Ann. d. Sc. nat., 4. sér. Bot., T. III, Pl. 2, p. 7.

dunklen Plasma hervor; bisweilen platzte die Zelle jetzt, und dabei wurden die Vacuolen, indem sie frei in der umgebenden Flüssigkeit umherschwammen, natürlich viel deutlicher; nachher platzten sie auch.

In nach der Jodseewassermethode fixirten Präparaten traten alle Verhältnisse sehr deutlich hervor; dies geschah sowohl nachdem ich mit wässeriger Saffraninlösung tingirt hatte, als auch nach der Tinction mit Grenacher'schem Alaunhaematoxylin. Im letztgenannten Falle wurden die Kerne deutlicher sichtbar; immer wurde in Dammarharz untersucht. Jetzt sah ich in sehr jungen Tetrasporangien im Centrum einen Kern und von hier aus einige Protoplasmafäden und -Platten nach dem Wandbeleg verlaufend, welche derart einige Vacuolen in der Zelle von einander schieden (Fig. 38). In einem etwas späteren Stadium hat sich die Anzahl der Protoplasmaplatten und dementsprechend auch die Zahl der Vacuolen vermehrt (Fig. 39 im opt. Querschnitt, Fig. 40 von oben gesehen). Dadurch wird bald der Kern schwer sichtbar, nur als eine dunkler tingirte Partie schimmert er durch das Protoplasma durch; dieses sieht jetzt durch die Anzahl Vacuolen ganz schaumig aus (Fig. 41). Indessen wird der Zellinhalt auch an fixirten Präparaten allmählich mehr und mehr körnig, so dass die Vacuolen auch endlich dem Auge entschwinden und im Moment der Viertheilung nicht mehr sichtbar sind. Ich brauche hier wohl nicht mehr auf die Aehnlichkeit der Entwickelung dieser Tetrasporen mit denen der Florideen, mit den Carposporen derselben Algengruppe, den Eizellen der Fucaceen und den Endospermzellen höherer Pflanzen aufmerksam zu machen.

V. Phaeosporeae.

Sporochnus pedunculatus (Huds.) Ag.

Die gestielten Fruchtkörper dieser Alge sitzen in ziemlich grosser Menge den Zweigen des fadenförmigen Thallus auf. Diese Fruchtkörper sind keulenförmig und bestehen aus einem centralen Strang von Zellfäden und aus von hier aus nach allen Seiten verlaufenden verzweigten Haaren. Die einfächerigen Sporangien entstehen als

Verzweigungen dieser Haare. Wenn man ein junges Zoosporangium betrachtet, so beobachtet man, dass es einen Protoplasmawandbeleg mit eingelagertem Kern und farblosen Chromatophoren enthält und eine centrale Vacuole. Bisweilen wird diese Vacuole auch durch einige Plasmafäden durchsetzt, welche sich an der einen Seite dem Kern anheften, wie in Fig. 42. Während der Entwickelung vermehren sich diese Platten oft so rasch, dass das Bild eines Sporangiums sich während des Zeichnens ändert, wie z. B. in derselben Fig. 42, wo der spätere Zustand durch die Linien α β γ δ angegeben wird. Dadurch wird die ursprünglich allein vorhandene Vacuole in einige kleinere getheilt, während zur selben Zeit der Kern mehr in das Centrum der Zelle rückt (Fig. 43 von oben gesehen, Fig. 44 im optischen Längsschnitt). Durch weiter fortgesetzte Vacuolentheilung wird der Kern zuletzt unsichtbar. Jetzt treten sehr oft viele stark lichtbrechende Körnchen und Massen im Cytoplasma auf; letzteres wird selbst auch viel stärker lichtbrechend, so dass es oft sehr schwierig ist, sich über den Inhalt des Sporangiums ein Urtheil zu bilden. In anderen Fällen ist das Protoplasma aber viel durchsichtiger, und dann sieht man leicht eine sehr grosse Anzahl Vacuolen in seinem Innern liegen, wie in Fig. 45, wo das Protoplasma dadurch eine schaumige Structur bekommen hat. Jetzt zieht sich der ganze Protoplast etwas von der Zellhaut zurück; dadurch wird auch die hyaline Hautschicht sehr deutlich bemerkbar. Etwas später sieht man die ganze Inhaltsmasse in kleine Portionen getheilt, welche unter sich und an der Peripherie mit der früheren Hautschicht zusammenhängen; in Fig. 47 sind zwei solche Portionen abgebildet. Diese Linien scheinen erst blind im Innern des Protoplasten zu endigen, wie die Fig. 46 angiebt, wo daneben noch ein Stück der Hautschicht allein abgebildet ist. Wenn man ein günstiges Object zur Beobachtung hat, sieht man in den verschiedenen Portionen deutlich eine oder mehrere Vacuolen liegen. Zu gleicher Zeit wird auch die Farbe des ganzen Sporangiuminhalts zuerst hellgelb, dann durch gelbbraun allmählich dunkelbraun, indem die Chromatophoren, welche, wie wir sahen, zuerst farblos waren und welche sich wohl auch vermehrt haben während der Entwickelung des Sporangiums, allmählich einen braunen Farbstoff bilden. Die neugebildeten Protoplaste runden sich jetzt mehr und mehr ab und

werden so zu Schwärmsporen; indem sie über einander liegen, kann man durch die braune Farbe sich kein Urtheil bilden über deren Inhalt, nur an der Peripherie gelingt es bisweilen Vacuolen und Chromatophoren in ihrem Innern zu sehen. Wenn man aber das reife Sporangium in destillirtes Wasser bringt, dem etwas Eosin zugesetzt ist, so färbt sich sehr bald die ganze Protoplasmamasse dunkelroth, dagegen vergrössern sich die Vacuolen, werden als farblose Blasen sichtbar und platzen. Dieselbe Erscheinung kann man auch hervorrufen durch die bekannte 10procentige Salpeterlösung und nachheriges Auswaschen mit Wasser. Uebrigens können auch auf früheren Entwickelungsstadien die Vacuolen in derselben Art und Weise zum Vorschein gebracht werden. Schwärmende Zoosporen habe ich nicht gesehen; dagegen sah ich reife Schwärmsporen, zwar ohne Cilien, ausserhalb des Sporangiums. Diese Körper sehen nicht immer ganz gleich aus; in vielen Fällen sieht man einen Kern, ein Chromatophor und eine oder zwei Vacuolen in ihrem Protoplasma, während dagegen oft das Cytoplasma so stark lichtbrechend ist, dass man nichts vom Inhalte unterscheiden kann; zwischen diesen beiden extremen Fällen finden sich nun alle möglichen Uebergänge, wie die Fig. 48 a, b und c zeigen. In den meisten Fällen gelingt es aber dennoch, die Anwesenheit der Vacuolen zu beweisen, indem diese in destillirtem Wasser sehr stark anschwellen, ausserhalb des Protoplasmas zum Vorschein kommen und bald darauf platzen; nach dem Platzen ist gewöhnlich der Kern sehr deutlich sichtbar.

Fixirte Präparate bestätigten die Resultate, am lebenden Objecte erhalten. Ich tingirte mit einer wässerigen Safraninlösung und untersuchte in Dammarharz. In jungen Sporangien sieht man deutlich den Wandbeleg, die Vacuole, die Protoplasmafäden, welche diese durchsetzen, und eine dunkelrothe Stelle, den Kern. Später findet man eine grosse Anzahl Vacuolen, ein dadurch schaumiges Protoplasma, und endlich ist die ganze Zelle, wenigstens bei geringer Vergrösserung, dunkelroth gefärbt. Wenn man jetzt aber mit sehr starken Linsen untersucht, so zeigen sich eine grosse Anzahl rother Stellen, die Kerne, und dazwischen die farblosen Vacuolen. Die Theilung des Protoplasmas in Schwärmsporen habe ich an fixirten Präparaten nicht beobachtet.

Arthrocladia villosa (Huds.) Duby.

In der Litteratur finden sich sehr wenige Angaben über die Fructificationen dieser Alge. Eine ziemlich schlechte Abbildung der Sporangien gaben Derbès und Solier[1]), welche übrigens die Schwärmsporen nicht gesehen haben. In einer kurzen Notiz hat Thuret mitgetheilt[2]), dass das bisher für vielfächerig gehaltene Sporangium in Wirklichkeit aus einer Reihe von einfächerigen Sporangien besteht. Man hat aber auf diese Notiz nachher entweder gar nicht geachtet, wie aus einigen systematischen Werken ersichtlich ist[3]), oder man hat, wie z. B. Ardissone[4]), die Angaben von Thuret einfach für unrichtig erklärt; wir werden bald sehen, dass Thuret mit seinen Behauptungen vollkommen Recht hatte, wie auch wohl von vornherein zu erwarten war.

Die Stämmchen und die Aeste von Arthrocladia villosa sind mit vielen Wirteln besetzt, welche aus wiederholt verzweigten Gliederhaaren bestehen; die Zoosporangien entstehen aus diesen Haaren. Die Haarzellen enthalten einen Protoplasmawandbeleg mit Chromatophoren und einem Kern, und eine einzelne oder ein paar Vacuolen. Das Anfangsstadium der Bildung eines Sporangiums besteht in einer Ausstülpung einer Haarzelle, genau unterhalb der oberen Scheidewand. Diese Ausstülpung wird darauf durch eine Zellhaut von der Mutterzelle geschieden und enthält jetzt auch einen Protoplasmawandbeleg mit Chromatophoren und eine centrale Vacuole; der Kern ist an lebenden Objecten nicht sichtbar. Die so entstandene Zelle theilt sich durch eine Querwand, und jede von den beiden so entstandenen Zellen setzt dieses weiter fort, immer in derselben Richtung, bis eine perlschnurförmige Reihe von tonnenförmigen Zellen entstanden ist; in Fig. 49 sieht man einen Zustand, wo schon drei solcher Zellen gebildet sind. Diese ganze Bildung hielt man früher für ein vielfächeriges Sporangium, indem man meinte,

---

1) Derbès et Solier, Organes reproducteurs des Algues. Ann. d. Sc. nat., 3. Sér. Bot., 1850, T. XIV, p. 271, Pl. 33, Fig. 18—20.

2) Thuret in le Jolis, Liste des Algues de Cherbourg, p. 22.

3) z. B. Hauck, Die Meeresalgen, 2. Bd. von Rabenhort's Cryptogamenflora, 2. Aufl., 1875, p. 380, 381.

4) Ardissone, Phycologia mediterranea, 1887, p. 125.

dass jede Zelle nur eine einzelne Zoospore bilde. Wir werden aber im Anschluss an Thuret sehen, dass jede Zelle 10—12 Zoosporen hervorbringt, und also das Ganze eine Reihe von einfächerigen Sporangien darstellt. Im jüngsten Zustande enthält jede Zelle eine Vacuole, umgeben von einem Protoplasmawandbeleg mit einigen wenigen Chromatophoren (Fig. 49). Sehr bald aber bilden sich Protoplasmaplatten, welche die Vacuole durchsetzen und diese derart in einige kleinere vertheilen (Fig. 50 und 51); auch die Chromatophoren vermehren sich, machen aber bald durch ihre dunkelbraune Farbe den Zellinhalt dem Auge schwer zugänglich; diese Schwierigkeit wird noch grösser durch die starke Lichtbrechung des Protoplasmas. Indessen gelingt es dennoch in vielen Fällen die Vacuolen zu sehen, wie in den oberen Zellen der Fig. 52, und wo dieselben nicht sichtbar sind, kann man sie doch sehr leicht zum Vorschein bringen bei Anwendung von destillirtem Wasser mit Eosin oder, wenn auch etwas schwieriger, von der 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung und nachherigem Auswaschen mit Wasser. Zuletzt zieht sich der ganze Protoplast etwas zusammen, wobei natürlich die Chromatophoren noch mehr auf einander zu liegen kommen und der Zellinhalt dem Auge noch mehr verborgen bleibt. In Fig. 52 füllt der Protoplast in den beiden oberen Zellen noch die ganze Zelle, in der dritten hat er sich etwas von der Haut zurückgezogen und in der vierten hat er sich sehr stark contrahirt; in der fünften Zelle hat die Zoosporenbildung schon stattgefunden und diese sind schon ausgeschwärmt. Nachher theilt sich der Protoplast in einige kleinere Portionen, wie mir schien 10—12 (Fig. 53); diese werden sehr bald frei von einander als Zoosporen. Bisweilen sah ich die Schwärmsporen sich schon innerhalb des Sporangiums bewegen, in den meisten Fällen geschieht das aber erst, nachdem sie in das umgebende Medium ausgetreten sind. Letzteres findet statt, indem sich eine Stelle der Zellhaut, welche bei allen Zellen seitwärts, nur bei der Scheitelzelle an der Spitze liegt, verdickt; diese aufgequollene Stelle, welche weniger stark lichtbrechend ist wie die übrige Zellhaut, hat ungefähr die Gestalt einer biconvexen Linse (Fig. 53, rechts). Diese verdickte Stelle wird darauf durch die Schwärmsporen ausgedehnt und es bildet sich dort eine Oeffnung, welche oft viel kleiner ist wie der Durchmesser einer Zoospore, so dass diese sich

in der Oeffnung dünner machen müssen; bei dem Heraustreten sieht es gerade so aus, als wenn Amoeben durch die Oeffnung herauskröchen. Im Sporangium ist der Inhalt der Schwärmsporen meist schwer zu unterscheiden, wie z. B. bei dem in Fig. 54a auf Taf. XII abgebildeten; besser gelingt das, wenn auch nicht immer, sowie sie frei herumschwärmen. Man sieht dann gleich, wie in Fig. 54c, dass sie zwei Cilien enthalten, wovon die eine stets vorangeht und dabei eine Art schraubenförmiger Bewegung vollbringt, während die andere hinten nachgeschleppt wird. Im Körper der Schwärmsporen macht sich das grosse Chromatophor durch seine Farbe auch gleich bemerkbar; der Kern ist aber nicht immer so leicht sichtbar, dieser liegt gerade wie das Chromatophor am breiteren Ende der Zoospore; zwischen diesen beiden liegt die Vacuole. Von dieser ist deshalb oft nur ein Theil sichtbar, indem sie von Chromatophor und Kern verhüllt wird; bei einer Schwärmspore, welche sich tüchtig bewegt, sieht man oft die Vacuole in einem gewissen Stand, während sie sonst nicht zu finden war. Man kann aber jedenfalls, auch wenn die Vacuole gar nicht zu sehen ist, die Zoosporen mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysiren; dann stirbt das Protoplasma und nimmt eine rothe Tinction an; wenn man darauf die Flüssigkeit durch eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser ersetzt, so bleibt bisweilen die Vacuole in dem rothen Plasma dem Auge verborgen, aber oft tritt sie jetzt als helles, farbloses Bläschen hervor, wie in der Fig. 54b, wo dieselbe Schwärmspore wie in Fig. 54a gezeichnet ist nach der Behandlung mit Eosin-Salpeter-Wasser. Auch Erwärmung unter dem Mikroskop oder die Eosinlösung in destillirtem Wasser ohne Anwendung der Salpeterlösung ruft dieselbe Erscheinung hervor. Einmal schien es mir, als ob ich eine Copulation von zwei Zoosporen beobachtete; ich konnte aber leider die Erscheinung nicht bis zum Ende verfolgen, da die Schwärmsporen aus dem Gesichtsfelde des Mikroskops verschwanden und nicht mehr zurückgefunden werden konnten.

Fixirte Präparate gaben keine sehr schönen Resultate; ich tingirte mit Diamantfuchsinjodgrün, Methylgrünessigsäure, bekam aber die besten Präparate nach Tinction mit wässeriger Safraninlösung. In jungen Sporangien sind die Vacuolen dann sehr deutlich

sichtbar, ebenso auch der jetzt dunkelrothe Kern; nachher wird aber alles sehr undeutlich, man sieht nur einige dunkelrothe Stellen durchschimmern, was wohl nichts wie die Kerne sind. In reifen Sporangien, welche von den meisten Zoosporen schon verlassen waren, worin aber immer noch eine oder ein paar Schwärmsporen lagen, konnte ich in diesen eine dunkelrothe Stelle am breiten Theile beobachten, offenbar der Kern. Oft bekommt man auch den Eindruck eine Vacuole zu sehen, ganz sicher war ich davon aber nicht.

Ectocarpus confervoides (Roth) le Jol.

Ich untersuchte diese Alge nur sehr flüchtig; in der Litteratur findet sich eine Angabe von Berthold [1]), dass die Schwärmer von Ectocarpus siliculosus (eine Varietät unserer Art) ein Chromatophor enthalten, zwei Cilien, stark lichtbrechende Körnchen und eine helle Stelle, welche einer Vacuole ähnlich sieht, aber in Wirklichkeit ein Kern ist; bei der Copulation verschmelzen die Chromatophoren nicht. Vacuolen hat er also nicht gesehen. Gute Figuren der Sporangien von derselben Pflanze giebt Thuret [2]).

Die Zellen dieser Alge enthalten ausser dem Cytoplasma mit dem Kern und den eigenthümlichen verzweigten Chromatophoren eine oder mehrere Vacuolen; in der bekannten Weise kann man mit der 10procentigen Salpeterlösung die Anwesenheit eines lebenden Tonoplasten beweisen. Ich beobachtete die Bildung der vielfächerigen Zoosporangien; diese entstehen als Verzweigungen der Zellfäden; zuerst entsteht eine Ausstülpung einer Fadenzelle, welche sich durch eine Wand von der Mutterzelle trennt. Diese neue Zelle bildet dann allmählich das ganze Sporangium in der Form eines lanzettlichen Zellkörpers. In jedem Stadium der Bildung konnte ich in den Zellen das Cytoplasma mit Kern und Chromatophor und eine Vacuole finden. Reife Zoosporen habe ich nicht gesehen; aus dem Vorhergehenden geht aber wohl hervor, dass auch diese

---

1) Berthold, Die geschlechtliche Fortpflanzung der eigentl. Phaeosporeen, Mitth. a. d. zoolog. Station zu Neapel, Bd. II, 1881, p. 401.

2) Thuret, Recherches sur les zoospores des Algues et les Anthéridies des Cryptogames, Ann. d. Sc. nat., 3. Sér. Bot., T. XIV, 1850, p. 234, Pl. XXIV.

eine Vacuole enthalten, erstens weil es sonst ziemlich merkwürdig wäre, wenn die früher vorhandenen Vacuolen verschwinden sollten, und zweitens aus Analogie mit den anderen untersuchten Phaeosporeen.

Sphacelaria tribuloides. Menegh.

Die grossen Scheitelzellen dieser Alge sind schon ziemlich richtig von Pringsheim[1]) abgebildet worden, besonders die Lage des Kernes mit den umringenden Körnchen, während die Vacuolen dort kaum angedeutet sind, und ebenso wenig die Protoplasmaplatten, welche diese durchsetzen. Eine Vacuolentheilung konnte ich einige Male in der Scheitelzelle beobachten. Mit der 10 proc. Salpeterlösung konnte ich die Anwesenheit eines lebenden Tonoplasten beweisen. In älteren Zellen verschmelzen die Vacuolen langsam mit einander, die erwachsenen Zellen enthalten gewöhnlich zwei Vacuolen geschieden durch eine Protoplasmaansammlung, welche den Kern enthält. Aehnliche Beobachtungen machte ich auch bei Sphacelaria Scoparia.

Bekanntlich hat Sphacelaria tribuloides eigenthümliche dreihörnige Brutknospen, welche sich aus ganz kurzen Zweigen entwickeln. Anfänglich enthalten die Zellen dieser Zweige nur wenige Vacuolen, aber bei der Vermehrung dieser Zellen theilen sich die Vacuolen sehr rasch, in Folge dessen enthält die reife Brutknospe in ihren Zellen in der Mitte einen Kern mit umringenden farblosen Chromatophoren, während um diese herum viele kleine Vacuolen liegen, durch dünne Protoplasmaplatten von einander geschieden. Oft ist das Protoplasma dabei sehr stark lichtbrechend, so dass der Zellinhalt schwer sichtbar wird. Plasmolysirt man mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung, so stirbt das Protoplasma und färbt sich roth; bei nachherigem Auswaschen mit einer Lösung von Eosin in destillirtem Wasser vergrössern sich die noch lebenden Vacuolen, kommen aus dem rothen Protoplasma hervor, und werden in dieser Weise sichtbar; kurz nachher platzen sie.

---

1) Pringsheim, Zur Morphologie der Sphacelarienreihe. Abhandl. der Königl. Akad. der Wiss., Berlin, 1873, p. 137, Taf. V, Fig. 6.

Dass bei der Bildung der Brutknospen die Chromatophoren sich vermehren, wurde schon von Schmitz[1]) beobachtet.

Zusammenfassung.

Es hat sich also auch wieder bei den untersuchten Phaeosporeen gezeigt, dass die Fortpflanzungszellen Vacuolen enthalten; diese entstehen in den einfächerigen Sporangien, indem sich die ursprünglich allein vorhandene Vacuole in viele kleinere theilt, gerade wie das mit den Chromatophoren der Fall ist. Daneben zeigten sich auch Vacuolen in den Brutknospenzellen bei Sphacelaria, und diese Zellen enthalten eine grosse Menge dieser Organe, sehen also ganz meristematisch aus.

Endlich konnte ich die Richtigkeit der Angabe Thuret's constatiren, der zu Folge die sogenannten vielfächerigen Sporangien von Arthrocladia villosa in Wirklichkeit bestehen aus einer Reihe einfächeriger Zoosporangien.

VI. Chlorophyceae.

Von den grünen Algen untersuchte ich ausführlich die Schwärmsporenbildung von Chaetomorpha aerea und Codium tomentosum, theilweise wurden übrigens noch einige andere Siphoneen in die Untersuchung hineingezogen (Acetabularia, Halimeda, Derbesia); ich werde jetzt zuerst Chaetomorpha behandeln und mich darauf zu den Siphoneen wenden.

Chaetomorpha aerea (Dillw.) Kütz.

Die Chaetomorpha-Art, welche ich untersuchte, nenne ich Chaetomorpha aerea; ich möchte übrigens nicht fest behaupten, dass diese Bestimmung richtig ist; bisweilen schien mir die Pflanze mehr den Beschreibungen von Chaetomorpha Linum ähnlich zu sein. Es ist aber bekanntlich sehr schwierig, die verschiedenen Chaetomorpha-

---

1) Schmitz, Die Chromatophoren der Algen, p. 111.

species zu scheiden, und dabei glauben wenigstens einige Systematiker, dass Ch. aerea mit Ch. Linum und Ch. crassa eigentlich nur verschiedene Formen einer und derselben Art sind.

Die Litteratur über die Schwärmsporenbildung bei Chaetomorpha ist nicht gerade ausgedehnt. Eine ziemlich ausführliche Mittheilung des Vorganges wird durch Thuret gegeben[1]), wo besonders die Entstehung der aufgequollenen Stelle der Zellhaut und die centrale Blase richtig beschrieben sind; die beigegebenen Abbildungen sind ausgezeichnet. Weitere Beobachtungen über Chaetomorpha finden wir bei Areschoug[2]) und Schmitz[3]). Bekanntlich meinte letzterer, dass die Vacuolen entstehen durch das Zusammenfliessen der Flüssigkeit, welche das Protoplasmanetz umgiebt, und darauf oft von einer Membran umhüllt werden, welche durch dieses Netz gebildet wird. (Als Beispiele dieser Membran, welche offenbar nichts anderes ist als der Tonoplast, giebt er Bornetia, Griffithia, Codium und Caulerpa.) Nachdem er diese Meinung auseinandergesetzt hat, fährt er folgendermassen fort: „Bei Chaetomorpha, Urospora, u. a. Algen bleibt sie (die von einer Membran umgebene Vacuole) bei der Zelltheilung des ganzen Protoplasmakörpers in Zoosporen unverbraucht zurück als sogenannte hyaline Blase, die bei der Entleerung der Zoosporen aus dem Zoosporangium wesentlich mitwirkt."

In Anbetracht der grossen Aehnlichkeit von Chaetomorpha und Cladophora, möchte ich hier die Litteratur der Schwärmsporenbildung bei der letztgenannten Gattung kurz besprechen, besonders da wohl bei keiner einzigen Alge die Bildung der Zoosporen so genau bekannt ist. Wir verdanken die neueren eingehendern Beobachtungen hauptsächlich Strasburger[4]) und Schmitz[5]). Es ergiebt sich

1) Thuret, Recherches sur les zoosp. des Algues et les Anthéridies des Cryptogames. Ann. d. Sc. Nat. Bot. 3. Sér. T. XIV, 1850, p. 220, Pl. 17, Fig. 1.

2) Areschoug, Observationes phycologicae. Pars I, Nova Acta. Reg. Soc. Upsal. Ser. III, Vol. VI, 1866, Taf. IV.

3) Schmitz, Unters. über die Structur des Protoplasmas und der Zellhaut der Pflanzenzelle. Sitzungsber. d. Niederrh. Ges. f. Nat. u. Heilk. zu Bonn. Sitz. vom 13. Juli 1880.

4) Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung. III. Aufl., 1880, p. 71 und Botanisches Praktikum, 1884, p. 375 (2. Aufl., p. 385).

5) Schmitz, Die vielkernigen Zellen der Siphonocladiaceen, p. 17 und Die Chromatophoren der Algen, p. 119.

aus ihren Mittheilungen, dass bei der Schwärmsporenbildung die Chromatophoren sich in viele kleinere Stücke theilen, dabei verschwinden nach Strasburger die Amylonkerne, während Schmitz dieselben erhalten sah. Zu gleicher Zeit vermehren sich auch die Kerne. Jetzt entsteht eine bestimmte sternförmige Anordnung um gewisse Stellen, wo sich, wie Tinctionsmittel ergeben, ein Zellkern befindet; darauf zieht sich der ganze Protoplast etwas von der Zellhaut zurück. Nachher werden die verschiedenen sternförmigen Gruppen durch helle Linien von einander getrennt, es bildet sich an der Aussenseite einer jeden solchen Plasmaportion ein heller Fleck und Cilien, und die Schwärmsporen sind fertig. Im Innern der Zelle bleibt die Vacuole immer noch übrig in der Form einer stark lichtbrechenden Blase, welche bei der Entleerung der Schwärmsporen mitzuwirken scheint; letztere liegen in zwei- oder dreifacher Schicht um diese Blase herum. Diese Beschreibung gilt sowohl für die Makro- wie für die Mikrozoosporen. In einer Abbildung von Strasburger[1]), welche nach dem Leben gezeichnet war, sieht man zwischen den sternförmigen Figuren Vacuolen liegen; daraus könnte schon hervorgehen, dass diese in die Schwärmsporen aufgenommen werden müssen, und jedenfalls sind dadurch die Argumente derjenigen beseitigt, welche meinen könnten, dass die Schwärmsporen keine Vacuolen enthalten, weil diese sich in einer centralen Blase sammeln. Endlich hat Berthold[2]) denselben Gegenstand noch kurz behandelt, seine Beschreibung ist in wesentlichen Punkten derjenigen von Schmitz und Strasburger gleich: nur in einem Punkt weicht er ganz entschieden von den vorigen Beobachtern ab; ich gebe denselben mit seinen eigenen Worten: „Um die einzelnen Haufen (von Kern und Chlorophyllkörnern) erscheinen hierauf helle Zonen, und es macht bei ihrer gedrängten Lage den Eindruck, als ob diese die Schwärmeranlagen direct von einander trennten. In Wahrheit ist das Verhalten aber ein anderes. Die hellen Zonen entsprechen den zarten Membranen der Ascussporen, und auch hier haben wir anzunehmen, dass wie im Ascus die entstehenden Zellen von einer Plasmamasse allseitig umgeben

---

1) Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, Taf. XIII, Fig. 23.
2) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, p. 301.

und von einander getrennt werden. Bei Cladophora ist dieses Periplasma aber an Menge relativ gering und wird bei der mit der Herstellung der normalen Schichtung in den Schwärmeranlagen sich einstellenden Volumvergrösserung so zusammengedrängt, dass es zwischen den letzteren im Allgemeinen nicht mehr zu erkennen ist. Gut nachweisbar ist es aber in der Nähe der Austrittspapille des Sporangiums, wo die Schwärmer weniger gedrängt liegen, hier lässt es sich zwischen den die letzteren umschliessenden hellen Schichten erkennen." Der nach den theoretischen Voraussetzungen Berthold's nothwendige Schluss ist doch wohl etwas sehr hypothetisch; weil eine bestimmte Plasmaportion übrig bleibt zur Bildung der Zellhautverdickung, so folgt doch noch nicht, dass auch überall, wo es überhaupt nicht nachgewiesen werden kann, zwischen den verschiedenen Schwärmsporen noch Periplasma übrig ist. Uebrigens hat Berthold etwas früher und ebenso später angegeben, dass bei der Schwärmsporenbildung viele kleinere Vacuolen im Wandbeleg von Cladophora zu sehen sind, oder, wie er es nennt: „Die einzelnen Häufchen sind durch farbloses, fädig-vacuoliges Plasma mit einander verbunden."

Ich wende mich jetzt zu meinen eigenen Beobachtungen. Bekanntlich hat der Protoplast der Chaetomorphazellen die schon vor Jahren von Mitscherlich[1]) beschriebene Structur der Cladophorazellen. Man findet nämlich einen Protoplasmawandbeleg mit eingelagerten Chromatophoren und Kernen; letztere sind sehr klein, und im lebenden Zustande nicht oder fast nicht sichtbar. Ich konnte sie aber deutlich sehen, als ich Cladophorafäden in Jodseewasser fixirt hatte, sie darauf in 50 procentigen Alkohol überbrachte, mit Boraxcarmin tingirte und in Canadabalsam einlegte. Die centrale Vacuole wird durch viele dünne Protoplasmalamellen durchzogen, welche nur selten Chlorophyll enthalten, und im Allgemeinen, wie Berthold[2]) bemerkt hat, der Anordnung der Lamellen jedes Schaumgewebes entsprechen. Diese Platten vertheilen die Vacuole in viele kleinere; es war zu erwarten, dass jede von diesen von einem Tonoplasten umgeben sein würde: das hat sich denn auch

1) Mitscherlich, Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss., 1849, November.
2) Berthold, Protoplasmamechanik, p. 166.

aus den Versuchen von Janse[1]) erwiesen. Im Allgemeinen sind die Vacuolen im Centrum die grössten, und werden sie allmählich kleiner, je mehr man sich der Peripherie nähert[2]).

Beim Anfang der Schwärmsporenbildung vermehren sich, wie an in der oben angegebenen Weise fixirten Präparaten ersichtlich ist, die Kerne, aber zu gleicher Zeit entstehen an der Peripherie vom Wandbeleg aus mehr Protoplasmaplatten, welche die Vacuolen durchsetzen, diese dadurch verkleinern und dabei natürlich ihre Anzahl vermehren. Jetzt zeigt sich die von Schmitz und Strasburger schon ausführlich beschriebene Erscheinung; die Chlorophyllkörner ordnen sich sternförmig zu gewissen Massen; dass diese Massen einen Kern enthalten, lässt sich nur an fixirten Präparaten entscheiden; die Vacuolen sind gewöhnlich schon ohne Hülfe von Reagentien sichtbar, werden aber noch deutlicher, wenn man mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, weil dann das Protoplasma stirbt, während bei nachherigem Auswaschen mit einer Lösung von Eosin in destillirtem Wasser die noch lebenden Vacuolen sich vergrössern, als farblose Blasen aus der rothen Masse hervortreten und bald darauf platzen. Jetzt zieht sich der ganze Protoplast von der Zellhaut zurück, dabei wird die farblose Hautschicht deutlich bemerkbar; kurz nachher sieht man zwischen den Anhäufungen der Chorophyllkörner hyaline Linien auftreten, welche wohl von der Hautschicht aus ins Innere vordringen, und den ganzen Wandbeleg in eine Anzahl kleiner Portionen zerlegen. Durch die Contraction sind jetzt die Chlorophyllkörner so über einander gelagert, dass man den Inhalt dieser Portionen nicht mehr unterscheiden kann; allmählich nehmen sie eine mehr regelmässige Gestalt an, runden sich ab und kommen so frei neben einander zu liegen. Jetzt tritt an der Aussenseite von jedem so entstandenen Protoplasten eine helle Partie auf, wo sich nachher auch die beiden Cilien bilden und der rothe Augenpunkt, der wohl aus der Umwandlung eines Chromatophors entstanden ist. Die Bewegung der

1) Janse, Die Permeabilität des Protoplasma. Versl. en Meded. d. Kon. Akad. v. Wet. Amsterdam. Afd. Nat. 3. Reeks. D. IV, p. 341, 342, Fig. 1 u. 2.

2) Das hat auch Schmitz (Die vielkernigen Zellen der Siphonocladiaceen, Halle, 1879, p. 16) an einer nicht näher bestimmten Chaetomorpha-Art des Golfes von Neapel gesehen.

Schwärmsporen fängt gewöhnlich schon an, während sie noch in der Zelle liegen. Diese öffnet sich an der schon lange vorher durch eine aufgequollene Papille angelegten Stelle der Zellhaut und die Schwärmer gelangen ins Freie. Bei diesem Ausschwärmen scheint die centrale Blase, welche im Innern übrig geblieben ist, und welche den Haupttheil der Vacuolen mit einem Theile der Protoplasmaplatten und bisweilen auch noch einigen Chlorophyllkörnern enthält, eine Rolle zu spielen, indem sie sich ausdehnt und so die Schwärmsporen aus der Zelle hinausdrängt; wenn diese entleert ist, schrumpft die centrale Blase ganz zusammen. Die freien Zoosporen enthalten einen farblosen vorderen Theil mit dem rothbraunen Augenpunkt und zwei Cilien, eine Art Hautschicht, welche bisweilen schwer sichtbar ist, aber sich immer zeigt, wenn zwei Schwärmsporen gegen einander liegen, während der weitere Inhalt von dem Chlorophyll verdeckt wird. Der Kern zeigt sich erst an fixirten und tingirten Präparaten, er liegt meist an dem hinteren breiteren Ende der Zoospore, also anders wie es nach der Mittheilung Strasburger's[1]) bei Cladophora der Fall zu sein scheint. Die Vacuole wird oft, wenn auch nicht immer, sichtbar, wenn man mit einer 10 proc. eosinhaltigen Salpeterlösung das Protoplasma getödtet hat, und nachher diese Flüssigkeit durch Wasser, dem etwas Eosin zugefügt ist, ersetzt hat, weil sie dann als farblose Blase aus dem rothen Protoplasma hervortritt und nachher platzt. Einmal sah ich eine Copulation von zwei Zoosporen stattfinden[2]); Keimpflänzchen kann man sehr oft beobachten. Beim Keimen vergrössert sich auch gleich die Vacuole, so dass im Keimschlauch ein farbloser Protoplasmawandbeleg und eine Vacuole, welche bald darauf getheilt wird, sichtbar sind. Bei der weiteren Vergrösserung der Keimpflanze wird oft der Kern sichtbar; nachher findet die erste Zelltheilung statt, nachdem auch das Chlorophyll theilweise in den Keimschlauch eingewandert ist.

Codium tomentosum (Huds.) Stackh.

Bekanntlich besteht der Thallus von Codium tomentosum aus einem centralen Strang von verzweigten Fäden, welcher nach aussen

1) Strasburger, Bot. Practicum, 1. Aufl., p. 377.

2) Bei Cladophora zuerst beobachtet von Areschoug, Observationes phycologicae, Pars. II Nova Acta. Reg. Soc. Ups. Ser. III, Vol. IX, 1874, Taf. II.

kurze keulenförmige Zweige entsendet; diese stehen palisadenartig dicht gedrängt neben einander und bilden so die Oberfläche der Pflanze. Letztere ist aber sehr schlüpfrig, was verursacht wird durch Haare, welche seitwärts aus dem oberen Theil der keulenförmigen Verdickungen hervorsprossen. Hin und wieder findet man in den Fäden die bekannten eigenthümlichen Diaphragmen, welche ringförmig entstehen und bei ihrem Wachsthum die ursprünglich einzellige Pflanze in verschiedene Theile abgrenzen.

Die Sporangien, welche seitwärts an den keulenförmig verdickten Zweigen sitzen, waren schon sehr lange bekannt; man hielt sie aber früher für Sporen, welche ohne weiteres der Keimung fähig wären. Erst Thuret[1]) entdeckte die Zoosporen; er beschreibt ausführlich die Bildung der Schwärmsporen in den Sporangien; er sah die Farbe dieser letzteren allmählich dunkelgrün werden, darauf füllten sie sich mit Sporen, obwohl gewöhnlich an der Basis ein heller Raum übrig blieb; die Spitze des Sporangiums ward sehr dick und zeigte eine Anzahl Schichten, welche die Decomposition der Membran andeuteten; die Zoosporen enthielten keinen Augenpunkt; endlich beobachtete er keimende Zoosporen; die beigefügten Abbildungen sind sehr schön. Etwas später beschrieben Derbès und Solier[2]) die Bildung der Sporangien und der Schwärmsporen; ihre Figuren stehen denen Thuret's im Allgemeinen sehr nach; was uns hier aber besonders interessirt ist, dass in einer Figur sich eine Eigenthümlichkeit zeigt, welche, wie wir bald sehen werden, der Anfang ist einer Vacuolentheilung, nämlich die Entstehung von Ausstülpungen des Protoplasmas in die Vacuole hinein[3]). Die Zellkerne von Codium wurden zuerst gesehen von Arcangeli[4]), welcher diese aber nicht als solche erkannte. Darauf untersuchte Schmitz[5]) die Entstehung

1) Thuret, Recherches sur les Zoospores des Algues et les Anthéridies des Cryptogames. Ann. d. Sc. Nat. 3. Sér. Bot. T. XIV, 1850, p. 232, Pl. 23.

2) Derbès et Solier, Mémoire sur quelques points de la physiologie des Algues. Supplément des C. R. des Séances de l'Ac. d. Sc. T. I, p. 43, Pl. 22, Fig. 10—14.

3) l. c. Fig. 11 bei a.

4) Arcangeli, Su alcune alghe del gruppo delle Celoblastee. Nuovo giornale botan. ital. Bd. VI, p. 174, 1874.

5) Schmitz, Unters. über die Zellkerne der Thallophyten. Sitzungsber. der Niederrh. Ges. f. Nat. u. Heilk. Bonn, Sitzg. 4. Aug. 1879.

der Zoosporen; nach seinen Beobachtungen enthält das junge Sporangium einen dünnen Protoplasmawandbeleg; dieser wird allmählich dicker, bis er das ganze Sporangium erfüllt und so der Zellsaft verschwunden ist; die Chromatophoren vermehren sich sehr stark, in Folge dessen wird der Inhalt sehr undurchsichtig. Auch die Zellkerne vermehren sich, so dass jede Zoospore einen Kern enthält. Kurz nachher theilte Berthold[1]) ausführliche Beobachtungen über das eigenthümliche Verhalten der Zellkerne bei den Codien mit, und machte dabei die Bemerkung, dass er ausser den dunkelgrünen grossen Zoosporen noch viele kleinere gelbgrüne gefunden hat; diese hält er für männliche Generationszellen, während er die Makrozoosporen für weiblich hält; diese Meinung wird dadurch gestützt, dass er beide nie zusammen an derselben Pflanze fand, und es ihm nur gelang junge Keimpflänzchen zu bekommen, wenn er zwei verschiedene Individuen zusammen cultivirte. An einer anderen Stelle[2]) habe ich auseinandergesetzt, weshalb ich diese Meinung von Berthold nicht für wahrscheinlich halte. Vor kurzem hat endlich derselbe Autor angegeben, dass bei der Bildung der Geschlechtsproducte von Codium mehr oder weniger massenhafte periplasmatische Bildungen nachgewiesen werden können[3]).

Ich werde jetzt meine eigenen Beobachtungen mittheilen, welche die früheren in gewissen Theilen ergänzen. In der ganzen Pflanze findet man einen Protoplasmawandbeleg mit auf ziemlich unregelmässigen Abständen eingelagerten Kernen, welche ein oder zwei Kernkörperchen enthalten. Im lebenden Zustande sind diese sehr schwer sichtbar; die Tinction gelingt auch nicht leicht, weil die Zellhaut nur äusserst langsam Farbstoffe durchlässt. Die besten Resultate bekam ich bei Haematoxylintinction, während das von Berthold empfohlene Mayer'sche Cochenille mir keine Färbung ergab. Ausser den Kernen findet man sehr viele Chlorophyllkörner dem Wandbeleg eingelagert; dieselben liegen in den keulenförmigen Verdickungen ziemlich regelmässig in Längsreihen. Eine grosse Vacuole befindet sich im Innern; bisweilen, besonders in den keulenförmigen Ver-

1) Berthold, Zur Kenntniss der Siphoneen und Bangiaceen. Mittheil. a. d. Zool. Stat. zu Neapel. Bd. II, Heft 1, 1880, p. 73.

2) Nederl. Kruidkundig. Archief, 2. Ser., V, 3.

3) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, p. 305.

dickungen, laufen einige sehr dünne Protoplasmaplatten durch diesen grossen centralen Saftraum. Die Anwesenheit eines lebenden Tonoplasten zeigt sich bei der Anwendung der 10 procentigen Salpeterlösung in der bekannten Weise, leicht geht das aber nicht, da auch die Salpeterlösung schwer durch die Zellhaut diffundirt, und also hauptsächlich von der Schnittfläche aus eindringen muss. Darum kann man oft ohne Gefahr auch viel stärkere Salpeterlösungen benutzen ohne die Vacuole zu tödten. Die Sporangien entstehen als seitliche Ausstülpungen der keulenförmig verdickten Zweige; dieselben strecken sich allmählich in die Länge und nehmen dabei eine eiförmige Gestalt an; der Wandbeleg und die Vacuole der Mutterpflanze setzen sich ununterbrochen in dieselben fort, indem noch einige Zeit eine enge Communication zwischen den Sporangien und den keulenförmigen Zweigen übrig bleibt. Nachher aber schliesst sich diese durch einen unregelmässigen Pfropfen, welcher aus verschiedenen Schichten zusammengesetzt ist und aus derselben Substanz besteht, wie die äussere Zellhaut. Bis zu dieser Stufe, welche uns die Fig. 55 auf Taf. XII zeigt, lässt sich nicht entscheiden, ob das Sporangium Makro- oder Mikrozoosporen bilden wird; von jetzt an wird aber eine Differenz sichtbar. Beschäftigen wir uns daher zuerst mit den Makrozoosporangien.

In diesen findet eine sehr starke Vermehrung der Chlorophyllkörner statt, was zur Folge hat, dass die Farbe des Sporangiums bald dunkelgrün wird, und so der Inhalt dem Auge schwer zugänglich wird; zu gleicher Zeit vermehren sich auch die Kerne; das ist aber nur an fixirten und tingirten Präparaten zu beobachten, im Leben sind dieselben ganz unsichtbar. Das Protoplasma hat inzwischen an Masse stark zugenommen, was sich kund giebt durch eine Verdickung des Wandbelegs; zuerst liegt dieser noch in gleichmässiger Dicke um die Vacuole herum, aber bald fängt er an sich an einigen Stellen anzuhäufen und so Ausstülpungen in den Saftraum zu bilden. Dieses Stadium ist in der soeben genannten Abbildung von Derbès und Solier zu sehen. Diese Ausstülpungen vereinigen sich von beiden Seiten, so dass bald die Vacuole in zwei (Fig. 56) und nachher in mehrere kleine getheilt worden ist (Fig. 57). Das Chlorophyll liegt jetzt gewöhnlich ziemlich unregelmässig vertheilt, indem es sich ganz besonders an einigen Stellen

gesammelt hat; es vermehrt sich inzwischen mehr und mehr, so dass man bald die Vacuolen nur noch durchschimmern sieht, wie in Fig. 59, welches ein Makrozoosporangium in der Oberflächenansicht giebt, und diese endlich gar nicht mehr sichtbar sind. Die Vacuolen haben sich dabei fortwährend durch Theilung weiter vermehrt, und dementsprechend an Grösse abgenommen. Nur an der Basis nahe bei der Anheftungsstelle des Sporangiums ist eine einzige grössere Vacuole übrig geblieben, welche sehr deutlich zu sehen ist, weil sich die Hauptmasse des Protoplasmas mit den Chromatophoren von dieser Stelle entfernt hat. Ob diese Vacuole sich vielleicht in das Innere der grünen Masse weiter fortsetzt, habe ich nicht entscheiden können. Wenn man in dem jetzt beschriebenen Zustand die Sporangien durch einen Druck auf das Deckglas platzen macht und dadurch den Inhalt in das umgebende Seewasser austreten lässt, so stirbt das Protoplasma, was sich zu erkennen giebt, wenn man dem Seewasser zuvor Eosin zugesetzt hat. Wird jetzt an Stelle dieser Flüssigkeit eine Lösung von Eosin in destillirtem Wasser unter das Deckglas gebracht, so vergrössern sich die noch lebenden Vacuolen, werden als farblose Blasen sichtbar und platzen darauf; diese Erscheinung tritt zuerst am Rande der ausgetretenen Masse auf und schreitet allmählich nach innen zu fort. In einem folgenden Stadium hat sich der ganze Protoplast ein wenig contrahirt, so dass er an der Spitze und der Basis sich etwas von der Zellhaut zurückgezogen hat; einmal sah ich jetzt an der Spitze einen dicken Saum von Protoplasma um die grüne Masse herum liegen; dieser Fall ist in Fig. 58 gezeichnet worden (p). Kurz darauf nimmt das Protoplasma eine maulbeerförmige Gestalt an; diese so entstandenen Massen sieht man hierauf durch helle Linien von einander geschieden. Jede von diesen Massen enthält eine Vacuole umgeben von Cytoplasma mit Chlorophyllkörnern und einen Kern; dann fangen die jungen Zoosporen an sich abzurunden (Fig. 61), und erhalten an der der alten Hautschicht entsprechenden Stelle einen farblosen hyalinen Theil, woran nachher die Cilien sich bilden. Die grosse Vacuole an der Basis, und vielleicht auch im Centrum nimmt an dieser ganzen Bildung keinen Theil; aber ausserdem bleibt an der Spitze eine Protoplasmamasse erhalten, welche wohl dazu dient, um die Austrittsöffnung zu bilden (Fig. 58—61, p). Es entsteht nämlich an

der Spitze eine verdickte aufgequollene Zellhautschicht von eigenthümlicher Form, welche aus der Abbildung ersichtlich ist (Fig. 58 bis 61, z); ob diese Schicht durch Aufquellen eines Theiles der schon vorhandenen Zellhaut entsteht oder ob sie ganz neugebildet wird, konnte ich nicht entscheiden. Wenn die Zoosporen reif sind, fangen sie meist schon innerhalb des Sporangiums an sich zu bewegen. Jetzt sieht man das Sporangium stark anschwellen, so dass im Innern ein gewisser Druck ausgeübt werden muss, was wohl durch die noch vorhandene Vacuole im unteren Theile geschieht; darauf platzt die Zellhaut an der Spitze ringförmig, und der aufgequollene Theil wird durch den Sporangiuminhalt ausgestülpt und stark ausgedehnt; darauf scheint er ganz zu verquellen und die Schwärmsporen gerathen ins Freie. Diese Makrozoosporen haben einen eiförmigen Körper (Fig. 62); an der Spitze liegt die farblose hyaline Stelle mit den beiden Cilien; der übrige Theil ist von den vielen dunkelgrünen Chlorophyllkörnern ganz undurchsichtig gemacht. Der Zellkern zeigt sich erst bei der Tinction mit Haematoxylin; die Vacuole kann sichtbar gemacht werden, wenn man mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt und nachher mit destillirtem Wasser auswäscht, oder noch leichter, wenn man die Schwärmsporen gleich in eosinhaltiges, destillirtes Wasser bringt, wobei das Protoplasma stirbt, die Vacuole sich sehr stark vergrössert und ausserhalb der rothen Protoplasmamasse hervortritt und darauf platzt. In keimenden Zoosporen sah schon Thuret[1]) die grosse centrale Vacuole, und bildete sie auch ab; auch ich habe sie in verschiedenen Stadien beobachten können; aus dieser geht also die Vacuole der ganzen Pflanze wieder hervor.

Die Entwickelung der Mikrozoosporen ist im Allgemeinen der der Makrozoosporen ganz ähnlich. Ebenso wie dort verdickt sich der Wandbeleg und vermehren sich die Kerne und die Chromatophoren; die letzteren theilen sich aber in viel kleinere Theile wie bei den Makrozoosporen und nehmen dabei eine gelblichgrüne Farbe an. Die Vacuole wird in derselben Art und Weise getheilt, wie ich das oben schon beschrieben habe; ein solches Stadium ist in

1) Thuret, Recherches sur les zoospores des Algues, etc. Ann. d. Sc. Nat. 3. Sér. Bot. T. XIV, 1850, Pl. 23, Fig. 5.

Fig. 63 abgebildet; auch jetzt wird die Theilung weiter fortgesetzt (Fig. 64 von der Oberfläche gesehen und Fig. 65, die Spitze eines Sporangiums); die endlich entstandenen Vacuolen sind sehr klein (Fig. 66, welche die Spitze eines fast reifen Sporangiums darstellt). Aber dennoch sind sie besser sichtbar wie bei der Makrozoosporenbildung, besonders an der Peripherie der Zelle. Zuletzt sieht man ganz kleine Massen, welche eine Vacuole mit umgebendem Protoplasma und zwei Chromatophoren enthalten (Fig. 66). Diese runden sich ab, bekommen eine farblose hyaline Stelle an ihrer der Pheripherie zugekehrten Seite, wo auch die beiden Cilien entstehen, und haben sich so zu Mikrozoosporen herausgebildet. Die Schwärmer gelangen genau in derselben Art in's Freie wie bei den Makrozoosporangien; es sind dann sehr kleine Körperchen mit zwei gelbgrünen Chromatophoren am breiten Theile, an der gegenüberliegenden Seite zwei Wimpern, während das übrige Protoplasma sehr stark lichtbrechend ist und dadurch nicht viel mehr unterschieden werden kann, wenn auch bisweilen eine Vacuole sichtbar ist; in Fig. 67 ist eine Schwärmspore abgebildet. Bringt man diese Zoospore in destillirtes Wasser, dem etwas Eosin zugesetzt ist, so stirbt das Protoplasma und färbt sich roth; dabei wird der sich sehr dunkel tingirende Kern deutlich sichtbar; die Vacuole stirbt nicht, sondern dehnt sich als farblose Blase stark aus und platzt darauf.

Makro- und Mikrozoosporangien werden auf denselben Individuen und bisweilen selbst auf denselben keulenförmigen Anschwellungen gefunden. Damit wird der Wahrscheinlichkeitsgrund Berthold's für die Sexualität beider Gebilde hinfällig; eine Copulation habe ich nie beobachten können, wohl Bilder, welche aussahen wie copulirte Schwärmsporen, aber in Wirklichkeit wohl nur monströse Bildungen waren. Einmal aber erlangte ich Keimpflänzchen in einem Gefäss, wo ich nur Makrozoosporen in Seewasser gebracht hatte.

Halimeda Tuna (Ellis et Sol.) Lamour.

Die birnförmigen Zoosporangien dieser Pflanze, welche traubig an verzweigten Fäden am oberen Rande der Thallusglieder entspringen, wurden entdeckt von Derbès und Solier[1]); sie be-

1) Derbès et Solier, Mémoire sur quelques points de la physiologie des Algues, Supplém. des C. R. des Séances de l'Ac. d. Sc., T. I, p. 46, Pl. XI.

schrieben den Uebergang des Protoplasmas in die jungen Sporangien, welche fortwährend dunkler gefärbt und endlich schwarzgrün waren, während die Schwärmer selbst nur ein Chromatophor enthielten. Nachher hat nur noch Schmitz[1]) diese Gebilde beschrieben; auch er sah das Protoplasma aus der Pflanze in die Sporangien übergehen; letztere enthielten erst einen dünnen Wandbeleg von Protoplasma, welcher fortwährend dicker und immer dunkler gefärbt wird, so dass der Inhalt bald fast gar nicht mehr zu sehen ist; das Zelllumen scheint bei diesen Veränderungen fast ganz zu verschwinden. Es bleibt ein Protoplasmarest ungetheilt übrig. Das Aufspringen des Sporangiums findet mittels eines Querspaltes statt. Halimeda platydisca scheint sich gerade so zu verhalten.

Ich habe diese Pflanze nur sehr unvollständig studiren können; der vegetative Theil des Thallus enthält in den älteren Theilen eine centrale Vacuole und einen Wandbeleg aus Protoplasma; in den jüngsten Spitzen der Zweigfäden findet man aber gewöhnlich eine grosse Anzahl Vacuolen; das Protoplasma ist da sehr stark lichtbrechend, so dass es den Inhalt oft dem Auge entzieht. Von Sporangien fand ich nur fast reife Zustände; diese sind so dicht mit Protoplasma erfüllt und von der Menge der Chlorophyllkörner so dunkelgrün gefärbt, dass man vom Inhalt gar nichts unterscheiden kann; auch die Plasmolyse mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung gab keine anderen Resultate, als eine dunkelroth gefärbte Masse, worin sich nichts weiter nachweisen liess. Tinctionen von fixirten Präparaten ergaben mir auch keine Resultate, weil eine sehr dunkle Tinction erlangt wird, und auch nachheriges Auswaschen keine Differenzirung nachweisen lässt; nur einige dunkelgefärbte Körnchen konnte ich sehen, das waren aber ganz gewiss keine Kerne. Dagegen war in fixirten Präparaten bisweilen sichtbar, dass sich im Sporangium viele Vacuolen befinden; diese sind wohl in derselben Art wie bei Codium aus der ursprünglich allein vorhandenen entstanden; das lässt sich auch schon aus den Mittheilungen von Schmitz entnehmen. Nach der Entleerung der Zoosporen sah ich ebenfalls einen grossen grüngelb gefärbten Proto-

---

1) Schmitz, Sitzungsber. der niederrhein. Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde zu Bonn, Sitzung vom 14. Juni 1880.

plasmarest im Sporangium zurückbleiben. Die Schwärmer sind sehr klein; sie enthalten ein Chromatophor, der Kern ist unsichtbar, dagegen oft eine Vacuole zu sehen; an der vorderen Spitze befinden sich zwei Cilien (Fig. 68 a). Die Vacuolen werden deutlicher, wenn man die Zoosporen in eine Eosinlösung in destillirtem Wasser bringt; das Protoplasma stirbt und tingirt sich roth, der Kern wird etwas dunkler und das Chromatophor braun, während die Vacuole als farblose Blase in der rothen Flüssigkeit deutlich sichtbar ist (Fig. 68 b). Sie vergrössert sich allmählich, platzt darauf und schrumpft zuzusammen.

Derbesia Lamourouxii (J. Ag.) Sol.

Die Zoosporangien dieser Alge, welche kugelig sind und seitlich am oberen Theile der Zellfäden ohne Stiel sitzen, wurden zuerst von Solier[1]) beschrieben. Kürzere Mittheilungen über dieselben finden wir bei Schmitz[2]) und Strasburger[3]), während Berthold[4]) ausführlicher darüber berichtet hat; er giebt an, dass das junge Sporangium sich mit Protoplasma füllt und sich darauf in 10—20 Schwärmsporen theilt, welche augenblicklich keimen können. Zuerst findet man im Sporangium viele Kerne, welche aber nachher zu einigen grösseren, ebenso viel wie es Schwärmsporen geben wird, verschmelzen.

Ich beobachtete bei Derbesia einen Wandbeleg aus Protoplasma mit eingelagerten Chlorophyllkörnern und eine centrale Vacuole, welche Eiweisskrystalle enthält. Mit der bekannten 10procentigen Salpeterlösung konnte ich die Anwesenheit eines lebenden Tonoplasten demonstriren. Wenn man eine aufgeschnittene Zelle in eine 5procentige Salpeterlösung bringt und darauf diese Flüssigkeit durch Wasser ersetzt, so kommt ein Theil des Protoplasts aus der Zelle heraus, schnürt dabei Stücke mit Vacuolen ab, das Protoplasma

1) Solier, Ann. d. Sc. nat., 3. Sér. Bot., T. III, p. 162, Pl. 9.
2) Schmitz, Sitzungsber. d. niederrhein. Gesellsch. vom 4. August 1879, Sep.-Abdr. p. 2.
3) Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, 3. Aufl., 1880, p. 224.
4) Berthold, Zur Kenntniss der Siphoneen und Bangiaceen, Mitth. a. d. zoolog. Station zu Neapel, Bd. II, Heft 1, 1880, p. 77.

stirbt, die Vacuolen vergrössern sich, alles ganz genau in derselben Weise, wie ich das früher für Vaucheria beschrieben habe[1]) (übrigens sah ich dieselbe Erscheinung auch stattfinden bei Bryopsis muscosa). Die Zoosporangien entstehen als Ausstülpungen an den Zellfäden; natürlich setzen sich der Wandbeleg und die Vacuole ununterbrochen in dieselben fort; nachher runden sie sich ab und es bildet sich eine eigenthümliche pfropfenförmige Abschliessung an ihrer Basis, welche einigermaassen an die Verhältnisse bei Codium erinnert. Jetzt vermehrt sich das Protoplasma sehr stark, infolgedessen wird der Wandbeleg dicker, aber zu gleicher Zeit auch der Inhalt viel stärker lichtbrechend, was zusammen mit der starken Vermehrung der Chlorophyllkörner, welche dem Sporangium eine schwarzgrüne Farbe verleihen, Ursache davon ist, dass man die Verhältnisse im Innern nur sehr schwer übersehen kann. Ich beobachtete aber, dass der Wandbeleg sich an einigen Stellen allmählich anhäufte, so dass sich Ausstülpungen in die Vacuole bildeten; diese theilten bald darauf die Vacuole in einige kleinere. Wenn man in diesem Zustande mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, so contrahirt sich der Protoplast, stirbt aber nicht; das findet erst statt, wenn man nachher mit Wasser auswäscht; die Vacuolen bleiben dann aber noch einige Zeit lebendig, vergrössern sich sehr stark, so dass sie als farblose Blasen in der rothen Flüssigkeit erscheinen und darauf platzen. Spätere Entwickelungsstadien der Sporangien habe ich leider nicht beobachtet.

Acetabularia mediterranea Lamour.

Die älteren Beobachtungen von Nägeli[2]) und Woronin[3]) über diese Alge werde ich übergehen, um ganz kurz die ausgezeichneten Beobachtungen von de Bary und Strasburger[4]) zu besprechen. Später erweiterte Strasburger diese Beobachtungen noch[5])

---

1) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, 1888, p. 339, Taf. IX.
2) Nägeli, Neuere Algensysteme, Zürich, 1847, p. 158, T. 3.
3) Woronin, Recherches sur les Algues marines Acetabularia et Espera, Ann. d. Sc. nat., 4. Sér. Bot., T. XVI.
4) de Bary und Strasburger, Acetabularia mediterranea, Bot. Zeitung, 1877, p. 713.
5) Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, 3. Aufl., 1880, p. 69.

durch Zuhilfenahme von Tinctionsmitteln. Bekanntlich entstehen die Sporen dieser Alge in den Fächern des Schirmes in grosser Anzahl. Die reifen Sporen enthalten einen Protoplasmawandbeleg; das Protoplasma verdankt seine grüne Farbe netzförmig verbundenen Bändern; der grosse Mittelraum enthält eine wasserhelle Flüssigkeit. Die Schwärmer bilden sich in diesen Sporen, indem erst die Amylumkörnchen gelöst werden, dann wird der Wandbeleg gleichmässig feinkörnig, während seine Farbe durch schmutziggrün in blaugrün übergeht. Darauf treten helle Flecken in regelmässigen Abständen in demselben auf; diese Flecken stehen vielleicht im Zusammenhang mit den Kernen, welche sich bei der Tinction mit Haematoxylin zeigen. Nachher findet eine simultane Theilung des Wandbelegs statt; die verschiedenen so gebildeten Partien werden durch helle Linien von einander geschieden, runden sich darauf ab, bekommen einen rothen Strich und bilden sich zu Zoosporen heraus. Im Centrum der Spore bleibt eine grosse helle Blase als Rest des Lumens übrig; diese scheint durch ihren Druck die Schwärmsporen aus der Spore herauszupressen. Sie färbt sich mit Jod braun, nachdem sie erst geplatzt ist, und enthält an der Peripherie gewöhnlich noch einige Stärkekörnchen und Chlorophyllkörner. Beim Absterben der Schwärmsporen bildeten sich Vacuolen im Innern; wenn sie keimen (nach der Copulation) enthalten sie einen Protoplasmawandbeleg und darin eine centrale Vacuole. Letzteres wird nicht von den genannten Autoren mitgetheilt, ergiebt sich aber aus der Betrachtung von einigen ihrer Abbildungen[1]).

Ich selbst sah die Fächer des Schirmes mit Sporen gefüllt, und auch noch einige jüngere Zustände. Wegen der Verkalkung der Membran ist es aber sehr schwer, den Inhalt genau zu studiren; es schien mir, als wenn ich kurz vor der Sporenbildung einen netzförmig durchbrochenen Protoplast sah mit grossen Vacuolen in den Maschen, während vorher nur eine centrale Vacuole vorhanden war. Die Sporen selbst enthalten ausser der Membran eine grosse centrale Vacuole und zwischen beiden einen ziemlich dicken Wandbeleg; an der Peripherie davon ist immer eine hyaline Hautschicht sichtbar, während übrigens eine grosse Anzahl Chlorophyllkörner dicht ge-

1) de Bary und Strasburger, l. c., Taf. XIII, Fig. 25—29.

drängt darin liegt, welche, von der Fläche gesehen, etwas eckige Umrisse haben. Wenn man mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung plasmolysirt, so stirbt das Protoplasma gleich und färbt sich roth; jetzt werden oft auch die Kerne sichtbar durch ihre viel intensivere Tinction; die Vacuole contrahirt sich sehr stark. Wenn jetzt die Salpeterlösung durch destillirtes Wasser ersetzt wird, dem etwas Eosin zugefügt ist, so vergrössert sich die Vacuole sehr stark, tritt an einigen Stellen aus der rothen Protoplasmamasse hervor und platzt darauf. Eine Anzahl Sporen brachte ich in ein Gefäss mit Seewasser, um die Schwärmsporenbildung zu beobachten; sehr lange Zeit veränderten diese sich gar nicht. Während ich mich mit anderen Sachen beschäftigte, versäumte ich leider einige Wochen lang die Acetabularien zu beobachten; wie ich mich zuletzt wieder zu ihnen wandte, da hatte es mit der Herrlichkeit ein Ende. Nur einige schwärmende Zoosporen konnte ich entdecken; diese enthielten, der Beschreibung gemäss, eine helle Stelle mit zwei Cilien und einen Augenfleck, während im übrigen Theil die Chlorophyllkörner peripherisch liegen und somit den Inhalt dem Auge entziehen. Als ich die Schwärmsporen in die übliche 10procentige eosinhaltige Salpeterlösung brachte, starb das Protoplasma und wurde also roth tingirt; dadurch wurde auch einige Male der Kern sichtbar, indem er eine mehr tiefrothe Farbe annimmt. Jetzt wurde ausgewaschen mit einer Lösung von Eosin in destillirtem Wasser, darauf vergrösserte sich in vielen Fällen die noch lebende Vacuole und trat als farblose Blase theilweise aus der rothen Plasmamasse hervor, wie in der Fig. 69; nachher platzte sie.

Zusammenfassung.

Wie sich aus den hier mitgetheilten Thatsachen ergiebt, habe ich die vollständige Entwickelung nur der Zoosporen von Chaetomorpha aerea und der Makro- und Mikrozoosporen von Codium tomentosum verfolgen können; in diesen Fällen vermehren sich die Kerne und die Chromatophoren vor der Schwärmerbildung, ebenso theilt diese auch die Vacuole in viele kleinere solcher Organe, damit jede Zoospore in den Besitz einer Vacuole gelangen kann. Bei Derbesia Lamourouxii sah ich nur den Anfang der Entwickelung des

Sporangiums, dieser verläuft aber ganz ähnlich wie bei Codium: Vermehrung der Chromatophoren und Theilung der ursprünglich allein vorhandenen Vacuole in einige kleinere. Es ist also wohl wahrscheinlich, dass auch die weitere Entwickelung in derselben Art und Weise verlaufen wird. Bei Halimeda Tuna beobachtete ich nur fast reife Sporangien und reife Zoosporen; letztere enthalten Vacuolen; diese Organe befinden sich in grosser Anzahl im Sporangium und haben sich also wohl auch hier aus der ursprünglichen centralen Vacuole der Pflanze gebildet. Bei Acetabularia mediterranea untersuchte ich nur die Anfangs- und die Endstadien der Schwärmsporenbildung; die Sporen enthalten eine grosse centrale Vacuole, diese scheint durch Theilung aus dem Saftraum der Mutterzelle hervorzugehen und giebt wohl ihrerseits wieder die Vacuolen ab, welche sich in den Zoosporen nachweisen lassen. Bei der Keimung, wie ich es wenigstens bei Chaetomorpha und Codium gesehen habe, gehen die Vacuolen der erwachsenen Pflanze aus denen der Schwärmsporen durch Wachsthum und Theilung hervor.

Also auch bei den untersuchten Chlorophyceen enthalten die Generationszellen Vacuolen, welche durch Theilung aus der Vacuole der Mutterzelle hervorgegangen sind; mit grosser Wahrscheinlichkeit wird man diese Thatsache, in Anbetracht der bei den anderen Algen beobachteten Fälle, auf alle Chlorophyceen übertragen dürfen. In der Litteratur finden sich übrigens auch Angaben, welche darauf hinweisen, dass die Entwickelung der Schwärmsporen bei anderen Algen ähnlich ist; so z. B. erwähnt Berthold[1]), dass sich kurz vor der Schwärmerbildung bei Botrydium und Bryopsis kleine Vacuolen im Wandbeleg finden lassen.

VII. Zusammenstellung der Resultate und Schluss.

Die beobachteten Thatsachen werden wohl am übersichtlichsten werden, wenn ich sie in einigen Gruppen anordne. Bei jeder dieser Gruppen verhält sich der Zellinhalt dann in der Hauptsache gleich, ab-

1) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, p. 303.

gesehen von Details, welche ich hier in der Zusammenstellung natürlich nicht weiter berühren werde.

Zu der ersten Gruppe gehören die Tetrasporangien und Carposporen der Florideen, die Tetrasporangien von Dictyota und die Oogonien der Fucaceen. Im jungen Zustande enthalten diese Zellen einen Protoplasmawandbeleg mit Chromatophoren; letztere sind oft um den Kern herum gelagert, welcher im Centrum der grossen Vacuole an einigen Protoplasmafäden oder -Platten aufgehängt ist. Diese Platten vermehren sich während der Entwickelung der Sexualzellen; dadurch findet auch eine Vermehrung der Vacuolen statt, welche dementsprechend kleiner werden. Zu gleicher Zeit nimmt die Zahl der Chromatophoren durch Theilung auch fortwährend zu, so dass die reifen Zellen einen netzförmig durchbrochenen Protoplast enthalten; die Maschen des Netzes werden von den Vacuolen eingenommen, der Kern liegt im Centrum, die Chromatophoren im Protoplasma zerstreut. Hierauf findet die Keimung statt, es sei direct bei den Carposporen oder nach der Befruchtung bei den Eizellen oder endlich nach der Viertheilung bei den Tetrasporangien. Bei dieser Keimung vertheilen sich die Vacuolen und Chromatophoren auf die verschiedenen neuentstandenen Zellen, so dass die erwachsenen Zellen der jungen Alge nur ein oder einige von diesen Organen enthalten. Merkwürdig ist die Uebereinstimmung in der Entwickelung dieser Gruppe von Zellen und den Zellen der Samen vieler Phanerogamen, wo beim Auftrocknen und der darauffolgenden Keimung nach den Untersuchungen W a k k e r s ähnliche Erscheinungen stattfinden.

Zu der zweiten Gruppe gehören die Fälle der Vielzellbildung, welche ich beobachtete, es sei, dass noch ein Rest des Protoplasmas und der Vacuole übrig bleiben als centrale Blase, wie bei der Zoosporenbildung von Chaetomorpha aerea, Acetabularia mediterranea, Codium tomentosum und Halimeda Tuna, oder dass der ganze Protoplast in viele kleinere getheilt wird (wobei ich wenigstens keine centrale Blase beobachtete), wie bei der Schwärmerbildung von Sporochnus pedunculatus, Arthocladia villosa und Derbesia Lamourouxii. Das Sporangium enthält hier in seiner Jugend eine centrale Vacuole und einen Wandbeleg mit eingelagerten Chromatophoren und einem oder mehreren Kernen. Die Entwickelung findet statt,

indem sich die Kerne und die Chromatophoren vermehren, zu gleicher Zeit durchziehen Protoplasmastränge und -Platten die Vacuole, so dass diese allmählich in mehr und mehr kleinere getheilt wird. Darauf lagern sich die Chromatophoren je mit einem Kern, Vacuole und Cytoplasma zu kleinen Gruppen zusammen; zwischen diesen Gruppen zeigen sich farblose Linien. Jede von den so entstandenen kleinen Protoplasten bildet sich zu einer Zoospore heraus. In den Fällen, wo noch eine centrale Blase übrig bleibt, findet die beschriebene Schwärmerbildung nur in einer peripherischen Schicht in einer Dicke von einer oder mehreren Schwärmsporen statt.

An diese Gruppe schliessen sich an die Spermatozoiden der Fucaceen, welche wohl phylogenetisch mit den zuvor genannten Zoosporen zusammenhängen. Die Ausbildung des Antheridiums ist ganz ähnlich wie oben für die Sporangien geschildert wurde, nur nehmen die Kerne einen verhältnissmässig viel grösseren Raum ein, während die Chromatophoren und die Vacuolen rudimentär geworden sind.

Endlich giebt es eine Gruppe von plurilocularen Sporangien, wovon ich nur ganz kurz Ectocarpus confervoides untersuchte. Dort entsteht aus einer Zelle, welche Protoplasmawandbeleg mit Chromatophor und Kern und eine Vacuole enthält, durch fortgesetzte Zelltheilung ein Zellkörper, wovon jede Zelle auch wieder alle Organe des Protoplasmas durch entsprechende Theilung erhalten hat. Der Inhalt jeder Zelle wird als Schwärmspore frei.

Hieran schliessen sich die Spermatien der Florideen an, die sich in jeder Hinsicht ähnlich verhalten; nur nimmt der Kern einen verhältnissmässig grossen Raum ein, und sind die Chromatophoren verschwunden, während Vacuolen, wenigstens in den von mir untersuchten Fällen noch vorhanden waren. Ausserdem scheinen sich hier die Spermatozoiden der Characeen und höheren Cryptogamen anzuschliessen, welche aber, nachdem sie ausgeschlüpft sind, Körnerplasma sammt Vacuole und Chromatophoren in der Form einer Blase von sich werfen.

Zuletzt sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch dort, wo eine Alge sich durch Brutknospen vermehrt, wie bei Sphacelaria tribuloides, die Zellen dieser Brutknospen einen Kern, ein Proto-

plasma mit Chromatophoren und Vacuolen enthalten, welche Organe sich durch panmeristische Zelltheilung aus den Mutterzellen der Brutknospen gebildet haben.

Aus den obigen Untersuchungen geht wohl mit völliger Klarheit hervor, dass die Vacuolen sich bei den Algen nur durch Theilung vermehren, und im Zusammenhang mit meinen früheren Untersuchungen wird dieses also auch auf die höheren Pflanzen auszudehnen sein. Von jetzt an hat man nicht mehr den Beweis zu verlangen, dass Vacuolen sich irgendwo durch Theilung vermehren, sondern wer die Vorstellungen von de Vries und mir nicht annimmt, hat den unzweifelhaften Beleg dafür zu liefern, dass irgendwo normale Vacuolen an Stellen im Protoplasma entstehen, wo solche vorher nicht vorhanden waren. Wenn man etwa mit Pflanzen ankommen wollte, welche keine Vacuolen enthalten, so würde das überhaupt nichts beweisen; giebt es ja auch die ganze grosse Classe der Pilze, welche ihre Chromatophoren verloren haben, woraus aber wohl Niemand schliessen wird, dass die Chromatophoren sich nicht durch Theilung vermehren. Ich selbst habe bei einer Pflanze, nämlich der Palmellacee Palmophyllum crassum (Naccari) Rabenh., keine Vacuolen finden können, obschon ich nicht mit Sicherheit behaupten will, dass dieselben dort auch nicht vorkommen, da erstens die Zellen sehr klein sind, und zweitens die Einwirkung von Reagentien durch die grossen Gallerthüllen ausserordentlich erschwert wird. Andererseits giebt es vielleicht auch Pflanzen, welche noch keine Vacuolen enthalten, da wir uns doch vorstellen müssen, dass die zuerst entstandenen lebenden Organismen nur aus Protoplasma bestanden und sich erst nachher Kern, Chromatophoren und Vacuolen hieraus differenzirt haben. Man könnte etwa die Phycochromaceae für vacuolenlos halten, aber dennoch habe ich bei einigen nicht näher bestimmten Lyngbya- und Oscillaria-Arten Vacuolen gefunden, theilweise waren diese schon im lebenden Zustande bis in die jüngsten Zellen deutlich zu sehen; in anderen Individuen aber wurde ich daran verhindert durch die Körnchen oder die starke Lichtbrechung des Protoplasmas; da zeigte sich ihre Anwesenheit erst bei der Anwendung der 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung und nachherigem Auswaschen mit Wasser; auch in fixirten Präparaten beobachtete ich diese Vacuolen; selbst in einigen Zeich-

nungen von Bornet und Thuret[1]) findet man sie schon abgebildet für Calothrix confervicola.

Die Frage, woraus die ersten Vacuolen hervorgegangen sind, lässt sich natürlich nicht leicht beantworten; vielleicht besteht ein Zusammenhang zwischen den pulsirenden und den normalen Vacuolen, wobei die ersteren die phylogenetisch älteren sein würden. In der Litteratur finden sich jedenfalls einige zerstreute Angaben, woraus hervorgeht, dass wenigstens in gewissen Fällen, wie bei Euglena[2]), die pulsirenden Vacuolen sich durch Theilung vermehren. Daneben findet man in gewissen Schwärmsporen der Chlorophyceae pulsirende Vacuolen, woraus vielleicht die normalen Vacuolen im Laufe der Entwickelung hervorgehen, wobei dann diese ontogenetischen Thatsachen einen Hinweis auf die Phylogenie der Vacuolen ergeben würden. Jedenfalls wird es besser sein, hier nicht weiter auf Hypothesen einzugehen und diesen Punkt weiteren Untersuchungen zu überlassen.

Haag, Juni 1889.

Figuren-Erklärung.

Die Figuren sind, wenn nicht ausdrücklich anders bemerkt worden ist, mit der Camera nach lebenden Objecten gezeichnet. Als Ocular wurde benutzt 2 von Zeiss, als Objective C und E von Zeiss und $^1/_{16}$ von Leitz. — Ueberall bedeutet k Kern, c Chromatophor, v Vacuole und h Hautschicht.

Tafel IX.

Fig. 1—8. Laurencia obtusa.

Fig. 1—5 (E. 2). Aufeinanderfolgende Stadien in der Entwicklung der Carposporen. Fig. 1, 2 und 3 sind im optischen Längsschnitt, Fig. 4 und 5 von der Oberfläche gesehen, so dass bei den letzteren der Kern unsichtbar ist. Die Vacuolen haben sich stark vermehrt, ebenso die Chromatophoren, welche dabei allmählich roth gefärbt sind.

Fig. 6 ($^1/_{16}$, 2). Antheridiumzelle, worin die Vacuolen deutlich sichtbar sind.

---

1) Bornet et Thuret, Notes algologiques, Fasc. I, Paris 1876, Pl. III, Fig. 2.

2) Klebs, Unters. über die Organisation einiger Flagellatengruppen etc., Unters. a. d. bot. Inst. z. Tübingen, Bd. I, Heft II, 1883, p. 250.

Fig. 7 ($^1/_{16}$, 2). a und b Spermatien, worin die Vacuolen noch zu sehen sind, c ein Spermatium, wo vom Inhalt nichts zu unterscheiden ist. d dasselbe Spermatium nach der Behandlung mit einer eosinhaltigen 10 procentigen Salpeterlösung und nachherigem Auswaschen mit Wasser, dem etwas Eosin zugesetzt ist; die Vacuole tritt als farblose Blase aus dem rothen Protoplasma hervor.

Fig. 8 ($^1/_{16}$, 2). a Zwei Antheridienzellen, wo die Vacuolen noch schwach durchschimmern, b dieselben Zellen nach der Behandlung mit einer eosinhaltigen 10 procentigen Salpeterlösung; das Protoplasma ist roth gefärbt, die Kerne haben sich dunkler tingirt; die noch lebenden Vacuolen sind als helle Blasen sichtbar.

Fig. 9—14. Ricardia Montagnei.

Fig. 9—13 ($^1/_{16}$, 2). Aufeinanderfolgende Entwickelungsstufen der Carposporen. Die Vacuole wird allmählich in viele kleinere getheilt; die Chromatophoren vermehren sich und färben sich roth.

Fig. 14 ($^1/_{16}$, 2). Ein noch nicht erwachsenes Tetrasporangium, schon in vier Sporen getheilt. Die Vacuolen und Chromatophoren sind sichtbar; Oberflächenansicht.

Fig. 15, 16 auf Taf. IX und Fig. 17—20 auf Taf. X. Spyridia filamentosa.

Fig. 15 ($^1/_{16}$, 2). Eine Zelle im optischen Längsschnitt mit vier Rindenzellen. Die mittlere Zelle enthält eine grosse Vacuole mit Wandbeleg. In der Rindenzelle findet man Vacuolen, Protoplasma und Chromatophoren; diesen Inhalt sieht man auch in der unteren Rindenzelle links, welche anfängt zum Tetrasporangium auszuwachsen; ausserdem ist dort der Kern sichtbar.

Fig. 16 ($^1/_{16}$, 2). Ein etwas älteres Tetrasporangium in der Oberflächenansicht; die Vacuolen sind sichtbar.

Tafel X.

Fig. 17 ($^1/_{16}$, 2). Ein Tetrasporangium mit Vacuolen in der Oberflächenansicht; etwas älter wie dasjenige der Fig. 16.

Fig. 18 ($^1/_{16}$, 2). Ein noch älteres Tetrasporangium im optischen Querschnitt. Vacuolen und Kern sind sichtbar; die Chromatophoren haben angefangen sich zu färben.

Fig. 19 ($^1/_{16}$, 2). Ein eben getheiltes Tetrasporangium, in der Oberflächen ansicht; die Vacuolen sind noch zu sehen.

Fig. 20 ($^1/_{16}$, 2). Ein fast erwachsenes Tetrasporangium in der Oberflächenansicht, schon rosenroth gefärbt; die Vacuolen schimmern nur schwach durch.

Fig. 21—33. Cystosira abrotanifolia.

Fig. 21, 22 (E. 2). Junge Oogonien im optischen Querschnitt; der Kern liegt in der Mitte von Chromatophoren umgeben; Protoplasmabänder durchsetzen die Vacuole.

Fig. 23 (E. 2). Etwas älteres Oogonium im optischen Querschnitt. Vacuolen und Chromatophoren haben sich vermehrt; stark lichtbrechende Körnchen sind aufgetreten.

Fig. 24 (E. 2). Ein noch älteres Oogonium in der Oberflächenansicht; die Vacuolen haben sich weiter vermehrt, die Chromatophoren liegen noch um den Kern herum.

Fig. 25 (E. 2). Eine reife Eizelle in der Oberflächenansicht, wo der Inhalt besonders deutlich sichtbar war, so dass die Vacuolen durchschimmern; die Chromatophoren haben sich vom Kern aus nach der Peripherie begeben.

Fig. 26—30 ($^1/_{16}$, 2). Fünf aufeinanderfolgende Entwickelungsstadien der Antheridien; der grosse Kern ist überall deutlich sichtbar; die Vacuolen vermehren sich allmählich und werden dabei kleiner. Kurz vor dem Zeichnen waren die Vacuolen α und β in Fig. 26 noch vereinigt.

Fig. 31 ($^1/_{16}$, 2). a Ein Antheridium, wo der Inhalt durch körnige Linien in viele kleinere Theile getheilt worden ist, b ein Stückchen vom Rande des Protoplasten dieses Antheridiums nach der Plasmolyse mit einer 10procentigen Salpeterlösung; die Linien sind hyalin geworden und hängen mit der Hautschicht h zusammen.

Fig. 32 ($^1/_{16}$, 2). Ein reifes Antheridium mit Spermatozoiden, die Intine ist sichtbar.

Fig. 33 ($^1/_{16}$, 2). Ein Spermatozoid, mit einer eosinhaltigen 10procentigen Salpeterlösung behandelt und jetzt in einer Lösung von Eosin in destillirtem Wasser liegend. Eine farblose Stelle ist an dem rothen Protoplasma sichtbar, vielleicht eine Vacuole.

Tafel XI.

Fig. 34—37a. Sargassum linifolium.

Fig. 34—36 ($^1/_{16}$, 2). Aufeinanderfolgende Entwickelungsstadien der Antheridien im optischen Längsschnitt. Der grosse Kern ist sichtbar; die Vacuolen haben sich allmählich so weit getheilt, dass sie kaum in der Fig. 36 von den Körnchen des Protoplasmas zu unterscheiden sind.

Fig. 37 ($^1/_{16}$, 2). Ein Antheridium, wo der Inhalt sich contrahirt hat, wobei die Hautschicht h sichtbar wird; von hier aus laufen einige körnige Linien, welche im Innern blind zu endigen scheinen.

Fig. 37a ($^1/_{16}$, 2). Ein Spermatozoid, in einer Eosinlösung in destillirtem Wasser liegend; das Protoplasma hat sich roth gefärbt; ein farbloses Bläschen ist sichtbar, vielleicht eine Vacuole.

Fig. 38—41. Dictyota dichotoma. Mit Jodseewasser fixirte Präparate, mit Safranin gefärbt, in Dammarharz untersucht.

Fig. 38, 39 (E. 2). Zwei junge Tetrasporangien im optischen Querschnitt mit deutlichem Kern und Vacuolen.

Fig. 40 (E. 2). Ein junges Tetrasporangium in der Oberflächenansicht; die Vacuolen sind sichtbar.

Fig. 41 (E. 2). Ein älteres Tetrasporangium in der Oberflächenansicht; die Vacuolen haben sich stark vermehrt.

Fig. 42—48. Sporochnus pedunculatus.

Fig. 42 ($^1/_{16}$, 2). Junges Zoosporangium im optischen Längsschnitt; der Kern liegt im Wandbeleg; die Vacuole ist von einem Protoplasmastrang durchsetzt; 10 Minuten später war der Zustand wie ihn die punktirten Linien α β und γ δ angeben.

Fig. 43 ($^1/_{16}$, 2). Ein darauffolgendes Stadium eines Sporangiums in der Oberflächenansicht mit einigen Vacuolen.

Fig. 44 ($^1/_{16}$, 2). Ein etwas älteres Sporangium im optischen Längsschnitt, der Kern ist sichtbar; viele stark lichtbrechende Körnchen im Protoplasma.

Fig. 45 ($^1/_{16}$, 2). Ein noch älteres Sporangium mit vielen kleinen Vacuolen, von der Oberfläche gesehen.

Fig. 46 ($^1/_{16}$, 2). Ein Sporangium, wo sich der Inhalt contrahirt und Maulbeergestalt angenommen hat; die Vacuolen sind noch sichtbar. Von der Hautschicht aus gehen viele hyaline Linien in's Innere, welche dort blind endigen; ein Stückchen der Hautschicht mit einem solchen Fortsatz ist rechts neben der Figur gezeichnet.

Fig. 47 ($^1/_{16}$, 2). Zwei am Rande gelegene Theile des Protoplasten eines fast reifen Sporangiums, umgeben von hyalinen Linien, welche mit der Hautschicht h zusammenhängen.

Fig. 48 ($^1/_{16}$, 2). Drei fast reife Schwärmsporen, wo der Inhalt bei a sehr deutlich ist, so dass man Kern, Chromatophor und Vacuolen sieht, während b und c einen viel weniger durchsichtigen Inhalt haben.

Fig. 49—53 auf Taf. XI und Fig. 54 auf Taf. XII. Arthrocladia villosa.

Fig. 49 ($^1/_{16}$, 2). Junges Stadium einer Reihe von Zoosporangien; jede von den drei Zellen enthält eine centrale Vacuole.

Fig. 50 ($^1/_{16}$, 2). Reihe von Zoosporangien; in jedem haben sich durch Theilung einige Vacuolen und einige Chromatophoren gebildet.

Fig. 51 ($^1/_{16}$, 2). Ein etwas älteres Sporangium mit Vacuolen und Chromatophoren.

Fig. 52 ($^1/_{16}$, 2). Eine Reihe von noch älteren Sporangien; in a und b sind die Vacuolen nur theilweise von den Chromatophoren bedeckt, in c hat sich der Protoplast etwas contrahirt und sind deswegen die Vacuolen fast gar nicht mehr sichtbar; in d ist die Contraction weiter fortgeschritten und sind die Vacuolen ganz dem Auge entzogen. Darunter ein entleertes Sporangium.

Fig. 53 ($^1/_{16}$, 2). Ein fast reifes Zoosporangium mit in Zoosporen getheiltem Protoplast; links die aufgequollene Stelle, wo die Zellhaut sich öffnen wird. Darunter ein entleertes Sporangium.

Tafel XII.

Fig. 54 ($^1/_{16}$, 2). a Eine noch im Sporangium liegende Schwärmspore; die Vacuole ist etwas sichtbar; b dieselbe Schwärmspore nach der Behandlung mit einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung und darauffolgendem Auswaschen mit Wasser, dem Eosin zugesetzt ist; das Protoplasma ist roth tingirt, die Vacuole tritt als farblose Blase zum Vorschein; c eine schwärmende Zoospore, wo Kern, Chromatophor und Vacuole deutlich sichtbar sind.

Fig. 55—67. Codium tomentosum.

Fig. 55 (C. 2). Ein junges Sporangium (ob Mikro- oder Makrozoosporangium konnte nicht entschieden werden) mit centraler Vacuole und Protoplasmawandbeleg.

Fig. 56 (C. 2). Ein Makrozoosporangium, wo sich das Protoplasma schon stark vermehrt hat, ebenso die Chromatophoren; letztere liegen an einigen Stellen dichter angehäuft wie an anderen, die Vacuole ist in zwei kleinere getheilt.

Fig. 57 (C. 2). Ein etwas älteres Sporangium schon mit einer Anzahl Vacuolen.

Fig. 58 (E. 2). Spitze eines Sporangiums, wo sich der Protoplast etwas von der Zellhaut zurückgezogen hat; p hyaline Protoplasmaschicht.

Fig. 59 (C. 2). Aelteres Sporangium, wo die Vacuolen nur noch durchschimmern; p Protoplasma, welches sich nicht theilen wird; v Vacuole, welche nicht mit in die Schwärmsporen aufgenommen wird; z aufgequollene Zellhautschicht (oder Neubildung).

Fig. 60 (C. 2). Die Spitze eines etwas älteren Sporangiums; Bedeutung der Buchstaben wie in Fig. 59.

Fig. 61 (C. 2). Ein reifes Sporangium mit Makrozoosporen gefüllt.

Fig. 62 ($^{1}/_{16}$, 2). Eine reife Makrozoospore; die Chlorophyllkörner verdecken den ganzen Inhalt.

Fig. 63 (C. 2). Ein junges Mikrozoosporangium schon mit verschiedenen Vacuolen.

Fig. 64 (C. 2). Ein etwas älteres Sporangium mit mehr und kleineren Vacuolen, welche aber nur noch durchschimmern.

Fig. 65 ($^{1}/_{16}$, 2). Spitze eines noch älteren Sporangiums mit Vacuolen.

Fig. 66 ($^{1}/_{16}$, 2). Spitze eines fast reifen Sporangiums, wo sich die Mikrozoosporen anfangen zu bilden; p ungetheilter Protoplasmarest.

Fig. 67 ($^{1}/_{16}$, 2). Eine reife Mikrozoospore; nur die beiden Chromatophoren sind sichtbar.

Fig. 68. Halimeda Tuna.

Fig. 68 ($^{1}/_{16}$, 2). a Eine Schwärmspore, wo fast nur das Chromatophor zu sehen ist, b dieselbe Spore in einer Eosinlösung in destillirtem Wasser liegend; Protoplasma, Kern und Chromatophor sind gestorben, die noch lebende Vacuole ist als farblose Blase sichtbar.

Fig. 69. Acetabularia mediterranea.

Fig. 69 ($^{1}/_{16}$, 2). Eine Schwärmspore, welche mit einer 10 procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung behandelt war; dabei war das Protoplasma gestorben und hatte sich roth tingirt. Jetzt liegt die Zelle in einer Eosinlösung in destillirtem Wasser; die noch lebende Vacuole tritt als farblose Blase zum Vorschein.

Die Paraffineinbettung und ihre Verwendung in der Pflanzenanatomie.

Von

Ludwig Koch.

Bei zoologischen Untersuchungen werden Schnitte aus freier Hand nur noch ausnahmsweise gemacht. Unter Zuhülfenahme sehr verschiedener Einbettungsmassen schneidet man fast nur noch mit dem Mikrotom. Das umgekehrte Verhältniss besteht bei botanischen Arbeiten. Hier wird mit grosser Zähigkeit noch an den alten schwerfälligen Methoden festgehalten, obwohl es an gegentheiligen Bestrebungen nicht gefehlt hat.

Zu meinen Untersuchungen über die Entwickelung der Cuscuteen[1]) bediente ich mich bereits mit gutem Erfolg einer aus Talg und Paraffin bestehenden Einbettungsmasse. Sie war so zusammengesetzt, dass ihr Härtegrad demjenigen der zu schneidenden Pflanzentheile — das Schneiden fand hier allerdings noch aus freier Hand statt — ungefähr entsprach. Eine vollständige Entwässerung der Objecte erwies sich nicht als nothwendig, es genügte, dass durch Alkohol das oberflächlich anhaftende Wasser weggenommen wurde. Die Einbettungsmasse dringt somit nicht ein, sie umschliesst nur das Object, das dementsprechend in nahezu frischem Zustand verarbeitet wird. Die den Schnitten anhaftende Einschmelzmasse lässt sich leicht vermittelst Benzol und Alkohol entfernen.

---

1) L. Koch, Untersuchungen über die Entwickelung der Cuscuteen. Hanstein's botanische Abhandlungen, Bd. II, Heft III, p. 24, 1874.

die mikroskopische Technik eingeführte Seife. Das Verfahren wurde besonders im Hinblick auf die durch deren Wassergehalt beeinträchtigte Haltbarkeit des eingebetteten Pflanzenmaterials entsprechend modificirt. Zur Verwendung kam Glycerinseife; man trägt sie bis zur Sättigung in ein aus gleichen Volumtheilen bestehendes, über dem Wasserbad auf 60—70° C. erwärmtes Gemisch von Glycerin und 96procentigem Alkohol ein. Die einzulegenden Objecte müssen von starkem Alkohol durchdrungen sein. Sie kommen dann in das noch warme Gemisch, wobei man kleine Gefässe von Papier, Glas oder Porcellan benutzt. Bei sehr kleinen Objecten kann man die Einschmelzmasse auch direct auf Kork auftropfen. In derselben wird in dem einen wie dem anderen Falle bereits die erste Orientirung der eingelegten Pflanzentheile vorgenommen.

Zum Schneiden fand das Thoma'sche Schlittenmikrotom Verwendung. Die nicht fixirten Schnitte wurden mit kaltem oder, was schneller geht, mit warmem Wasser von der Seife befreit.

Der Vorzug der Methode liegt in ihrer verhältnissmässigen Einfachheit und darin, dass die vollkommen durchsichtige Einschmelzmasse sowohl die erste wie die fernere Orientirung der Objecte leicht gestattet. Demgegenüber steht der Nachtheil, dass bei längerer Einwirkung der warmen alkalischen Seifelösung leicht Macerationserscheinungen eintreten. Endlich bleiben auch, in Folge des Alkalis, die Inhaltsbestandtheile der Zellen nicht intact.

Auf besonders dünne Schnitte wurde kein Werth gelegt. Dieselben erwiesen sich für das Studium der Blüthenentwickelung weniger zweckmässig als die dicken.

Moll[1]) arbeitet wie Schönland im Wesentlichen wieder nach der erwähnten älteren Paraffineinbettungsmethode und rühmt deren Vorzüge. Die Objecte werden mit Chrom- oder Pikrinsäure gehärtet und in fliessendem Wasser ausgewaschen. Dann folgt successiv die Entwässerung in 20, 40, 60, 80, 95procentigem und endlich in absolutem Alkohol und die Uebertragung in eine kalt und dann in eine warm gesättigte Lösung von Paraffin in Terpentinöl. Den

1) J. W. Moll, The application of the paraffin imbetting method in botany, Botanical Gazette, Vol. XIII, p. 5. Ref. im botanischen Centralblatt, Bd. XXXVI, p. 29, 1888.

Schluss bildet das Einlegen in reines Paraffin, in dem die Objecte bei entsprechender Erwärmung 6—8 Stunden verbleiben.

Zur Entfernung des Paraffins werden die Schnitte mit Terpentinöl behandelt und mit 95procentigem Alkohol gewaschen. Vor dem Einlegen in Canadabalsam oder Glycerin kann man mit Alauncarmin etc. färben.

Douglas H. Campbell[1]) giebt an, dass er bei embryologischen Arbeiten weder das Schönland'sche noch das Moll'sche Verfahren benutzen konnte, vielmehr beide „verbunden und modificirt" habe. Wie das geschehen ist, geht aus den Mittheilungen nicht genau hervor.

Bei meinen Untersuchungen über Melampyrum[2]) bediente ich mich bereits zum Theil, bei denjenigen über Rhinanthus[3]) dagegen ausschliesslich der neueren von Giesbrecht[4]) und Bütschli[5]) eingeführten Methode der Paraffineinbettung. Es wird auf diese noch zurückzukommen sein.

Wie aus dem Mitgetheilten hervorgeht, fand bei den verschiedenen genannten Einbettungsmethoden ein verhältnissmässig recht beschränktes Pflanzenmaterial Verwendung. Speciell namhaft gemacht ist dasselbe nur in den wenigen Fällen, in denen es sich um ganz bestimmte Untersuchungszwecke handelt. Auch die Angaben über die Resultate lassen zu wünschen übrig. Ausdrücke wie „fast ausnahmslos vorzüglich" sind dehnbar und machen nicht den Eindruck unbedingter Zuverlässigkeit.

Das Vertrautsein mit jedem dieser Verfahren setzt eine gewisse, erst unter nicht unbedeutendem Zeitaufwand zu erlangende manuelle Geschicklichkeit voraus. Ausserdem werden ziemlich kostspielige Instrumente erforderlich. Ehe man somit die neue Arbeitsweise

---

1) Douglas H. Campbell, Paraffineinbettungsmethode für pflanzliche Objecte, Naturw. Wochenschrift, Bd. II, p. 61, 1888.

2) L. Koch, Ueber die directe Ausnutzung vegetabilischer Reste durch bestimmte chlorophyllhaltige Pflanzen, Berichte d. deutsch. botanischen Gesellsch., Bd. V, p. 350, 1887.

3) L. Koch, Zur Entwickelungsgeschichte der Rhinanthaceen, Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX, p. 13, 1888.

4) Giesbrecht, Zur Schneidetechnik, Zool. Anz., Bd. IV, p. 483, 1881.

5) Bütschli, Modification der Paraffineinbettung für mikroskopische Zwecke, Biol. Centralbl., Bd. I, p. 591, 1881.

empfehlen darf, muss man überzeugt sein, dass sie auch in der Pflanzenanatomie in ausgedehnterem Maasse Verwendung finden kann. Der Aufwand von Mühe soll in einem richtigen Verhältniss zu dem Erfolg stehen.

Das festzustellen ist der Zweck der vorliegenden Arbeit. Dementsprechend hatte man eine grössere Zahl von Pflanzen in das Bereich der Untersuchung zu ziehen und besonders die verschiedenen, sich durch einen unterschiedlichen Härtegrad auszeichnenden einzelnen Theile zu berücksichtigen. Es erschien zweckmässig, nicht mehrere Methoden, sondern nur eine, die bereits an einer wissenschaftlichen Arbeit erprobte neuere Paraffineinbettung, in Anwendung zu bringen und eingehend zu zeigen, was damit geleistet werden kann. Auf diese Weise wird eine für die erste Zeit nicht nur unnöthige, sondern geradezu abschreckend wirkende Complication vermieden. Zudem gilt auch hier, dass man mit einem gründlich geübten und in seinen Beziehungen zu dem zu bearbeitenden Material genau studirten Verfahren mehr ausrichtet, als mit einer Anzahl solcher. Die sonst naheliegende Gefahr der Zersplitterung und des unnützen Experimentirens muss gerade bei der Einführung einer neuen Arbeitsweise vermieden werden. Ist diese dagegen erst einmal eingebürgert, so hat — und das wird für einen späteren Zeitpunkt in Aussicht zu nehmen sein — auch das Heranziehen anderer, für bestimmte Zwecke gewiss empfehlenswerther Methoden nichts Bedenkliches mehr.

Zunächst soll nun das den pflanzlichen Objecten angepasste Einbettungsverfahren, das Schneiden mit dem Mikrotom und die Behandlung der Schnitte beschrieben werden. Es folge dann das Untersuchungsmaterial, das so zusammengestellt werden wird, dass der Arbeitende das für seinen speciellen Fall Geeignete ihm unschwer zu entnehmen vermag. Endlich seien in einem Rückblick die wesentlichsten Ergebnisse des speciellen Theiles der Arbeit übersichtlich zusammengefasst.

Die Paraffineinbettung und die Bearbeitung des eingebetteten Materials.

Bei einer gelungenen Einbettung sollen Paraffin und Object einen soliden, leicht schneidbaren Block darstellen. Die Einschmelzmasse darf dasselbe somit nicht blos umschliessen, sie muss vielmehr sowohl in die Intercellularräume als in die Zellen selbst eindringen. Das kann nur geschehen, wenn zuvor das hier vorhandene Wasser und ebenso die Luft vollständig entfernt werden.

In Bezug auf letztere ist es zweckmässig, zeitraubende Verfahren, wie die Anwendung der Luftpumpe oder das wiederholte Einbringen des Pflanzentheils in ausgekochtes Wasser, für besonders hartnäckige Fälle zu reserviren und sich der Hauptsache nach auf die Anwendung von Alkohol, der ja zugleich als Entwässerungsmittel gebraucht wird, zu beschränken. Mit ihm reicht man, unter Beobachtung gewisser, sich auf die Beschaffenheit der einzulegenden Objecte beziehender Vorsichtsmaassregeln, fast immer aus.

Die einzubettenden Pflanzentheile sind im Grossen und Ganzen cylindrische, flache oder kuglige. Sie werden, und das kommt besonders bei den letztgenannten Formen in Betracht, allseitig durch eine mehr oder minder dicke, oft stark cuticularisirte Aussenwand, die den Ein- und Austritt der Flüssigkeiten und der Gase erschwert, abgeschlossen. Man darf somit, auch wo die Grössenverhältnisse der Objecte das erlauben, diese nicht ganz, sondern nur angeschnitten zur Einbettung bringen. Beispielsweise schneidet man die bekanntlich bedeutende Luftmengen führenden Fruchtknoten am besten an der Basis an. Sind dieselben schon grösser, so verwende man senkrecht oder quer zur organischen Achse geschnittene 3—4 mm dicke Scheiben.

Cylindrische Organe, die gewöhnlich nur wenig Luft enthalten, werden, wenn sie succulent sind, in ähnlich dicken Scheiben und andernfalls in Stücken von 3—10 mm Länge eingelegt. Das Minimum der Länge ist da angezeigt, wo in Folge der Undurchlässigkeit der Aussenwand sich der Eintritt der Einbettungsflüssigkeiten fast nur an den Schnittflächen vollzieht.

Verhältnissmässig grosse Luftmengen besitzen die Blätter. Von ihnen hat man unter Berücksichtigung der Achsenverhältnisse bandförmige Ausschnitte von 2—4 mm Breite zu verwenden.

Die Benutzung derartig kleiner Pflanzenstücke empfiehlt sich übrigens auch deshalb, weil sich an ihnen die für die Einbettung und das Präpariren nöthigen Operationen wesentlich bequemer vornehmen lassen.

Ferner gelte es als Regel, von einem und demselben Object stets mehrere Stücke zugleich einzulegen. Die Mühe ist kaum grösser, als bei dem Einlegen eines einzigen. Man vermeidet damit, wenn aus irgend einem Grunde sich ein Object schlecht präpariren oder wenn eine Schnittserie misslingen sollte, die zeitraubende Wiederholung des ganzen Verfahrens.

Gleichzeitig mit der Entfernung der Luft erfolgt die Entwässerung des einzubettenden Pflanzenmaterials. Sie ist so zu leiten, dass Gewebeschrumpfungen thunlichst ausgeschlossen sind.

Dementsprechend hat man vor Allem Sorge zu tragen, dass nur in völlig turgescentem Zustand befindliche Pflanzen Verwendung finden. Bei den alten Präparationsmethoden ist es weniger bedenklich Pflanzentheile zu schneiden, die eben zu welken beginnen. Die Schnitte bestehen zum Theil noch aus unverletzten, lebenden Zellen. Aus dem dem Objectträger aufgegebenen Wasser können diese sowohl wie die immerhin noch frischen Zellwände verletzter Gewebe ihren Wasserverlust decken.

Anders verhält es sich bei der Einbettung. Bestanden hier anlässlich einer ungedeckten Wasserabgabe irgendwie bedeutendere Gewebeschrumpfungen, so sind sie bei der sofort beginnenden Entwässerung endgültige.

Ferner ist eine zu schnelle Entwässerung der Objecte zu vermeiden. Manche Pflanzentheile, darunter besonders diejenigen, welche über den embryonalen Gewebezustand bereits hinaus sind und grösstentheils aus dünnwandigen, protoplasmaarmen, dafür aber sehr wasserreichen Zellen bestehen, erweisen sich — und es gilt das besonders von Wurzeln — dem Alkohol gegenüber als ziemlich empfindlich. Sollen unter der Einwirkung des letzteren nicht ebenfalls Schrumpfungen entstehen, so ist die Entwässerung mit sehr

verdünntem Spiritus einzuleiten. Erst allmählich darf die Concentration gesteigert werden.

Am besten geht man von einem 25procentigen Alkohol aus. Mit ihm füllt man bis nahe zur Hälfte kleine Glascylinder, zweckmässigerweise solche von einer ungefähren Höhe von 6 mm und einem Durchmesser von 1,5 mm und giebt in sie das auf die oben beschriebene Weise vorbereitete Pflanzenmaterial. Nach einigen Stunden kann man bereits durch Zugeben einiger Tropfen absoluten Alkohols den Concentrationsgrad erhöhen. Dabei muss vermieden werden — und man erreicht das durch sofortiges Umschütteln — dass sich eine mit den Objecten in Berührung kommende Schicht von concentrirtem Alkohol bildet.

Nöthigenfalls unter Abgiessen eines Theiles des Cylinderinhalts fährt man mit der Verstärkung des Alkohols fort, bis dieser nahezu concentrirt ist. Dann wird die gesammte Flüssigkeit ausgegossen und durch absoluten Alkohol ersetzt. Hierfür sind gerade Glascylinder von der beschriebenen Grösse recht vortheilhaft. Giesst man aus ihnen ziemlich rasch und ohne zu schütteln aus, so bleiben die Objecte an der Wandung des Gefässes hängen. Das ermöglicht einen raschen Wechsel der Flüssigkeiten, bei dem man, worauf geachtet werden muss, keine Gefahr läuft, dass die von dem schnell verdunstenden Alkohol durchdrungenen Pflanzenstücke, sei es auch nur zum Theil, austrocknen. In dieser Hinsicht ist noch grössere Vorsicht angezeigt, wenn es sich um den Wechsel von Chloroform, das bekanntlich noch leichter verdunstet, handelt.

Die Objecte bleiben nun mindestens zehn Stunden in absolutem Alkohol. Dann wird dieser durch ein neues Quantum derselben Flüssigkeit — es darf in beiden Fällen nicht zu klein sein — ersetzt, in dem die Objecte noch sechs Stunden liegen müssen. Man giesst alsdann den Alkohol aus und giebt an seine Stelle Chloroform, in dem das einzubettende Material wiederum zehn Stunden verbleibt. Der Alkohol ist alsdann zwar durch Chloroform verdrängt, dieses enthält aber noch Spuren von ersterem, die erst beseitigt werden müssen, was durch Wechseln des Chloroforms geschieht. In reinem Chloroform haben die Objecte noch mindestens drei Stunden zu liegen. Alsdann sind sie für die Uebertragung in die Paraffinlösung genügend vorbereitet.

Ein längeres Verweilen des einzubettenden Materials in den genannten Flüssigkeiten als das angegebene hat keine nachtheiligen Folgen. In der Praxis wird man sich somit nur im Minimum an die obigen Zeitangaben halten und die beschriebenen Operationen je nach Bequemlichkeit vornehmen.

Bei der Durchtränkung der Pflanzentheile mit Paraffin soll das in ihnen enthaltene reine Chloroform auf osmotischem Wege zunächst durch eine schwache, dann durch eine mehr und mehr concentrirte Paraffinlösung und endlich durch reines Paraffin ersetzt werden. Dieser Vorgang ist erschwert, wenn bei einer starken, womöglich undurchlässigen Aussenwand die Diffusion im Wesentlichen nur an den Schnittflächen vor sich geht; ferner, wenn, wie das für sehr wasserreiche, dafür aber plasmaarme Objecte zutrifft, das Chloroform sich nicht in feinster Vertheilung in dem Protoplasma befindet, sondern die Zellen nahezu vollständig erfüllt. Bei eintretender, irgendwie stärkerer Erwärmung entweicht dann das Chloroform in Gasform, ein Zusammenfallen der Gewebe ist unvermeidlich.

Um derartige Schrumpfungen zu verhindern, darf man zunächst nur schwach erwärmen. Ausserdem ist die Lösung von Paraffin in Chloroform einige Zeit auf einem niederen Concentrationsgrad zu erhalten.

Hierfür empfiehlt sich das folgende, etwas zeitraubende, dafür aber auch allgemein anwendbare Verfahren.

Sättigt man auf etwa 35 ° C. erwärmtes Chloroform mit Paraffin — es wurde durchgängig solches mit einem Schmelzpunkt von 54 ° C. verwendet — so erhält man nach dem Erkalten eine weiche, butterähnliche Masse. Sie ist zum Gebrauche vorräthig zu halten. Von ihr wird eine nicht zu geringe Menge in ein mit einer Scheibe bedecktes Glasgefäss gebracht und dieses auf eine mit flachem Boden versehene, umgestülpt auf die obere Wand des zu Einbettungszwecken regulirten Wärmeschrankes gebrachte grosse Schale gesetzt. Die von hier ausgehende Wärme genügt, um die Chloroformbutter zum Schmelzen zu bringen.

In diese Flüssigkeit überträgt man nun das in reinem Chloroform befindliche Pflanzenmaterial. Das kann durch Schütteln und rasches Ausgiessen des Gesammtinhalts des Präparircylinders geschehen. Haften ihm noch einzelne Stücke an, so ist schnell nachzuspülen,

oder das anklebende Pflanzenstück vermittelst Pincette rasch nachzutragen. Man hat immer darauf zu achten, dass die von dem rasch verdunstenden Chloroform durchtränkten Objecte nicht austrocknen.

In der ersten Zeit schlägt sich das verdampfende Chloroform an der Glasscheibe nieder und tropft in das Gefäss zurück. Der Concentrationsgrad des Inhalts bleibt, wie das ja beabsichtigt war, zunächst derselbe. War die leere Schale ihren Grössenverhältnissen nach richtig gewählt, so werden erst nach 1—2 Stunden die Gefässe sammt Inhalt gleichmässig und zwar so durchwärmt sein, dass eine nennenswerthe Verflüchtigung des Chloroforms eintritt. Diese gewinnt nach und nach an Ausdehnung. Man kann annehmen, dass nach 24 Stunden der grösste Theil des Chloroforms verdunstet ist.

Während des Vorganges muss, nöthigenfalls unter erneuter Zugabe von Chloroformbutter, darauf geachtet werden, dass die Objecte weder ganz noch mit der einen oder anderen Schnittfläche trocken liegen. Ist die Lösung bereits nahezu concentrirt, so darf auch Paraffin in fester Form zugegeben werden.

Zum Schlusse gelangt die Schale sammt Inhalt noch auf mindestens 12 Stunden in den auf 55 ° C. regulirten Wärmeschrank, woselbst das Chloroform vollständig entfernt wird. Zur grösseren Vorsicht hat man sich hiervon direct zu überzeugen, indem man einen erhitzten Metalldraht eintaucht. Es dürfen alsdann keine Gasblasen aufsteigen.

Nach dem zweiten, einfacheren Verfahren werden die in reinem Chloroform befindlichen Objecte wie angegeben in eine Glasschale gebracht und mit einer grösseren Menge feingeschnittenen Paraffins bedeckt. Chloroform hat man noch reichlich und zwar sofort, bevor die Pflanzentheile austrocknen, zuzugiessen. Das im Präparircylinder vorhandene Quantum reicht keineswegs aus.

Die Schale sammt Inhalt kommt nun in den auf 55 ° C. regulirten Wärmeschrank. Daselbst schmilzt das Paraffin rasch, es entsteht eine im Vergleich mit dem oben beschriebenen Verfahren concentrirtere und stärker erwärmte Lösung. Auch die Verdunstung des Chloroforms und damit die Steigerung des Concentrationsgrades der Lösung beginnt alsbald. Das hat indessen überall da wenig zu sagen, wo es sich um Objecte handelt, welche bei einer sehr

dünnen, durchlässigen Aussenwand und starkem Protoplasmagehalt einerseits eine schnelle Diffusion gestatten, andererseits das Chloroform fein zertheilt in dem Protoplasma halten und nicht leicht gasförmig entweichen lassen. Es wird somit das einfachere Verfahren da in Anwendung kommen können, wo die einzubettenden Pflanzentheile noch vorzugsweise aus embryonalem Gewebe bestehen.

Der bereits mehrfach erwähnte Wärmeschrank ist für Einbettungszwecke unentbehrlich. Er besitzt eine doppelte, mit Wasser zu füllende Wandung und einen Thermoregulator für Gas, der, wie beispielsweise der Reichert'sche, eine genügend genaue Regulirung der Temperatur erlaubt. Der Innenraum wird zweckmässigerweise in mehrere Etagen getheilt und nach vorne durch eine Glasscheibe abgeschlossen [1]). Zu grosse Schränke sind nicht praktisch.

In dem Wärmeschrank haben die einzubettenden Objecte mindestens 24 Stunden zu verbleiben. Man überzeugt sich dann, ebenfalls durch Eintauchen eines heissen Drahtes, dass das Chloroform vollständig entfernt ist.

Ist das der Fall, so nimmt man über einem Gefäss mit kaltem Wasser die vorläufige Orientirung des eingelegten Materials vor. Das hat möglichst schnell, ehe die Masse erkaltet, zu geschehen. Mit einer erwärmten Präparirnadel werden die Objecte den räumlichen Verhältnissen der Schale entsprechend vertheilt und bezogen auf deren flachen Boden in die richtige Lage gebracht. Bildet sich hierbei eine Paraffinhaut auf der Flüssigkeit, so ist dieselbe durch Ueberfahren mit der Flamme eines umgekehrt zu haltenden Bunsen'schen Brenners zu beseitigen. Endlich wird die Schale vorsichtig, und ohne dass die Objecte ihre Lage verändern, auf das Wasser niedergelassen. Mit der raschen Erstarrung des Paraffins, welche sich jetzt vollzieht, vermeidet man Blasenbildung.

Aus dem 3—5 mm dicken Paraffinkuchen sind nun kleine, die Objecte enthaltende Stückchen auszuschneiden. Dies ist am leichtesten auszuführen, wenn man den Kuchen nicht ganz fest werden lässt, sondern mit dem Ausschneiden beginnt, wenn derselbe noch den Eindruck mit dem Fingernagel leicht gestattet.

1) Wärmeschränke dieser Construction sind aus der mechanischen Werkstätte der Firma R. Jung in Heidelberg zu beziehen. Vergl. den Nachtrag zu dem Preisverzeichniss No. 312 und 314.

Bei bereits festem Paraffinkuchen hat man sich eines Messers mit breitem Rücken zu bedienen. Auch dann gehört noch eine gewisse Uebung dazu, um zu verhüten, dass die auszuschneidenden Paraffinstückchen zerspringen.

Ein anderes, ebenfalls zweckmässiges und besonders bei der Verwendung von Uhrgläsern in Betracht kommendes Verfahren besteht darin, dass man diese, bevor man das in reinem Chloroform befindliche Pflanzenmaterial eingiebt, mit einer Spur von Glycerin, das man mit dem Finger aufträgt, einreibt. Wird später das den Paraffinkuchen enthaltende Uhrglas mehrere Stunden in Wasser gelassen, so löst sich der gesammte Kuchen von selbst los und kann mit einiger Vorsicht leicht zerschnitten werden.

Die das Object enthaltenden Paraffinstückchen schmilzt man auf grössere, rechteckige, zum Einspannen in den Objecthalter des Mikrotoms bestimmte Paraffinblöcke. Das geschieht vermittelst eines genügend erwärmten, nicht zu dünnen Metalldrahtes.

Bei dieser Gelegenheit wird zugleich die grobe Orientirung der Objecte vorgenommen.

Sind dieselben cylindrisch, sollen sie längs geschnitten werden, so hat man die Paraffinstückchen mit der Oberseite — es bezieht sich diese Bezeichnung auf den früheren Paraffinkuchen — aufzuschmelzen. Von dem Paraffinblock wird mit dem Drahte eine Schicht verflüssigt und das Paraffinstückchen rasch, und zwar genau parallel zu der angeschmolzenen Fläche, aufgelegt. Als Anhaltspunkt diene hierfür die Unterseite. Sie entspricht der Paraffinfläche, welche auf dem Boden der Schale erstarrte, der somit das auf diesen früher untergesunkene Object am meisten genähert sein muss. Dasselbe scheint hier, an der demnächstigen Schnittfläche, genügend deutlich durch, um die spätere, unter Benutzung der mechanischen Hülfsmittel des Objecthalters vorzunehmende feine Orientirung zu gestatten.

Zweckmässigerweise schmilzt man nicht nur die Unterseite des Paraffinstückchens dem Blocke an, sondern auch die alsdann senkrecht auf ihm stehenden Flächen. Das geschieht durch Umfahren mit dem heissen Draht.

Einem derartigen, bezogen auf den eingelegten Pflanzentheil, horizontalen Aufschmelzen steht das verticale gegenüber, welches

zur Anwendung kommt, wenn es sich um Querschnitte der eingeschmolzenen Objecte handelt. Die Seite, an welcher das Pflanzenstück durchscheint, hat alsdann senkrecht auf dem Paraffinblock zu stehen. Man schmilzt dementsprechend auf und bringt, so lange die verbindende Paraffinschicht noch weich ist, das Object genau in die Verticallage. Nach dem Erkalten, also wenn eine nachträgliche Aenderung dieser Lage nicht mehr zu befürchten ist, stellt man aus freier Hand, indem man bis dicht an das Object geht, eine vorläufige Schnittfläche her. Deren Richtung lässt sich an dem durchscheinenden Pflanzenstück noch leicht beurtheilen. Trifft sie dasselbe genau quer, so muss sie auch parallel zu der Anschmelzfläche des Paraffinblockes laufen.

An die vorläufige Schnittfläche hat man sich bei der demnächstigen feinen Orientirung genau und so ziemlich ausschliesslich zu halten, weil die das Object im Längsverlauf zeigende Seite des aufgeschmolzenen Paraffinstückchens aus Gründen, welche mit dem Schneiden zusammenhängen, verstärkt werden muss. Man nimmt diese Verstärkung vor, indem man mit dem heissen Drahte einen Tropfen von dem Blocke abschmilzt und über die zu verstärkende Fläche laufen lässt. Wird damit die neue Schicht nicht dick genug, so ist ein neuer Tropfen abzuschmelzen.

In beiden Fällen hat man zu vermeiden, dass der oder die Tropfen sich über die demnächstige Schnittfläche, die ja dann für ihre Zwecke unbrauchbar werden würde, ergiessen. Endlich sind die übrigen Längsseiten des Paraffinstückchens noch basal mit einer leichten Verstärkung zu versehen.

Verlangt das Object, wie das nicht selten für Vegetationspunkte etc. zutrifft, das Anschneiden an einer bestimmten Seite, so thut man gut, diese schon gelegentlich des Ausschneidens des Paraffinstückchens aus dem Kuchen zu markiren. Man hält denselben gegen das Licht und ritzt unter Berücksichtigung des Längsverlaufes des Pflanzentheils nahe dessen Scheitel einen Strich ein. Ihm parallel wird an der entgegengesetzten Seite des Objectes ein zweiter, längerer Strich angebracht und dementsprechend ausgeschnitten. An der leicht kennbaren Scheitelfläche des somit konisch zulaufenden Paraffinstückchens stellt man aus freier Hand sofort die vorläufige Schnittfläche her und schmilzt dann dessen

breitere Basis dem Paraffinblock auf. Die weitere Behandlung erfolgt wie oben angegeben.

Flache Objecte, wie Blätter etc., werden fast ausschliesslich vertical eingeschmolzen. Kommen sie mit ihrer Längsachse senkrecht auf die Anschmelzfläche des Paraffinblockes zu stehen, so erhält man Querschnitte. Läuft dagegen mit dieser die Achse parallel, so sind Längsschnitte zu erwarten.

Ein horizontales Aufschmelzen — die Längsachse des Blattes läuft auch hier parallel mit der Anschmelzfläche — ergiebt Flächenschnitte, für die allerdings nur selten ein Bedürfniss vorliegt.

Zum Schneiden bediente ich mich ausschliesslich des aus der mechanischen Werkstätte des Herrn R. Jung in Heidelberg hervorgegangenen Rivet-Leiser'schen, von Thoma wesentlich verbesserten Schlittenmikrotoms. Dasselbe ist in Construction und Ausführung vorzüglich und kann nur empfohlen werden.

Das Instrument wird in drei Grössen angefertigt. Das mittlere Modell ziehe ich den beiden anderen, welche für botanische Zwecke einestheils zu klein, anderntheils zu gross sind, vor. In dem Preisverzeichniss der genannten Firma ist dem Besteller die Zusammenstellung des Instruments überlassen. Es dürfte somit erwünscht sein, hier auf dessen Construction etwas näher einzugehen.

Der Körper des Mikrotoms besteht entweder aus vernickeltem Eisen oder aus Bronce. Letzteres Metall kommt nur da in Betracht, wo, wie beispielsweise in zoologischen Stationen, unter dem Einflusse des Seeklimas die Gefahr des Rostens eine grosse ist. Andernfalls empfiehlt sich Eisen als das härtere Material weitaus mehr.

An dem Körper des Instruments sind zwei Schlittenbahnen angebracht, die eine für den Object-, die andere für den Messerschlitten. Letzterer läuft auf fünf Contactpunkten, er muss ebenso leicht als gleichmässig gehen, was sich erkennen lässt, wenn man ihn schwach anstösst. Die ganze Bahn ist alsdann gleichmässig schnell zu durchlaufen. Geht der Schlitten zu schwer oder bewegt er sich gar ruckweise, so sind die Contactpunkte leicht anzuschleifen. Bei der Prüfung müssen die Schlittenbahnen gut eingefettet sein, wozu man ein dickflüssiges Oel, am besten Knochenöl, benutzt.

Der Schlitten trägt einen verstellbaren Messerhalter, der in zweierlei Form zur Auswahl steht. Bei der einen fixiren zwei

vertical angebrachte Schrauben das Messer, das in diesem Falle ein gewöhnliches Rasirmesser sein kann. Bei der andern sind horizontale Fixirschrauben vorhanden; es lassen sich hier nur die speciell für das Mikrotom hergestellten Messer verwenden. Letzteren gebe ich entschieden den Vorzug. Die in ihren Grössenverhältnissen weder zu dem Mikrotom noch dem betreffenden Messerhalter passenden gewöhnlichen Rasirmesser gestatten nur ein schwerfälliges Arbeiten.

Bei beiden Haltern lässt sich das Messer der Länge nach beliebig verschieben. Jede Stelle der Schneide kann ausgenutzt werden. Hierin liegt gerade der Vorzug der Messerhalter überhaupt. Messer, die, wie das ebenfalls vorkommt, ohne Halter vermittelst eines besonders eingerichteten Metallgriffes dem Schlitten angeschraubt werden, erlauben nur eine sehr beschränkte Ausnutzung der Schneide und sind somit wenig empfehlenswerth.

Für unsere Zwecke kommen fast ausschliesslich die planconcaven Messer in Betracht. Sie werden mit der planen Seite nach unten eingespannt. Man wähle die kleinen, 11 cm langen Messer, welche als die handlicheren und völlig ausreichenden den Vorzug verdienen. Ein anzuschraubender Griff von Holz und eine aus Metall bestehende Hülse, welche über den Rücken des Messers gezogen wird, sind zum Abziehen des letzteren nothwendig. Die Hülse ermöglicht, dass hierbei auch die plane Seite der Messerschneide mit der Streichriemenfläche in Berührung kommt.

Die Bahn des Objectschlittens ist zu derjenigen des Messerschlittens in einem Verhältniss von 1 : 20 geneigt. Ein auf ersterem angebrachter, an der grossen Mittelschiene des Instrumentes laufender Nonius gestattet ein genaues Ablesen der Verschiebung. Letztere wird indessen überall da, wo es sich um irgendwie feinere Schnitte, ja um exactes Arbeiten überhaupt handelt, nicht aus freier Hand, sondern mittelst der Mikrometerschraube vorgenommen.

Diese Schraube ist so gefasst, dass sie auf der Bahn des Objectschlittens beliebig verschoben und an jeder Stelle fixirt werden kann. Sie arbeitet mit ihrer Spitze gegen eine an dem Objectschlitten angebrachte kleine Achatplatte. An dem entgegengesetzten Ende befindet sich ein in fünfzehn Theile getheilter Schraubenkopf. Der einmaligen Umdrehung desselben entspricht unter Verschiebung die Hebung des Objectschlittens sammt Object um 0,015 Millimeter.

Die Drehung um nur einen Theilstrich würde somit die einer praktischen Bedeutung allerdings entbehrende Schnittdicke von 0,001 mm bedingen.

Die Mikrometerschraube wird in zweierlei Form angefertigt. Bei der einen einfacheren liest man die Umdrehung an dem Schraubenkopf ab. Bei der anderen complicirteren, der mit einer Einschnappvorrichtung versehenen, markirt ein durch das Einspringen einer Feder hervorgerufener Ton die Drehung. Eine an der Schraubenachse angebrachte Trommel mit hier nicht näher zu beschreibender mechanischer Vorkehrung ermöglicht es, dass bei einmaliger Umdrehung der Schraube die Feder, je nach Bedürfniss, 15 Mal, 3 Mal, 2 Mal und 1 Mal einspringt. Das würde Schnittdicken von 0,001, 0,005, 0,0075 und 0,015 mm entsprechen.

Von praktischem Werth ist wohl nur die Einstellung der Trommel auf fünf Theilstriche. Je nachdem man dann für einen und denselben Schnitt ein- bis sechsmal einspringen lässt, erhält man Schnittdicken von 0,005, 0,010, 0,015, 0,020, 0,025 und 0,030 mm. Hiermit reicht man fast in allen Fällen aus.

Die Einschnappvorrichtung lässt sich vermittelst eines Hebels ausschalten; sie muss ausgeschaltet werden, bevor man die Mikrometerschraube zurückdreht.

Nach meinen Erfahrungen ist die mit dieser Vorrichtung versehene Schraube der einfacheren entschieden vorzuziehen. Das Auge wird entlastet, man kann die ungetheilte Aufmerksamkeit auf Messer und Object richten und wesentlich rascher arbeiten.

Einer der wichtigsten Bestandtheile des Mikrotoms ist der mit dem Objectschlitten verbundene Objecthalter. Er steht in den verschiedensten Constructionen zur Auswahl. Zwei derselben sind es, die für botanische Zwecke vorzugsweise in Betracht kommen.

Der eine in dem Jung'schen Preisverzeichniss als um drei Achsen drehbar bezeichnete Halter[1]) ist an einem Stahlbolzen auf dem Objectschlitten befestigt. Er lässt sich hier vertical, sowie in verschiedener Höhe horizontal — also parallel der Ebene des Arbeitstisches — verschieben und vermittelst Schraube fixiren. Die Horizontalbewegung hat nur da Bedeutung, wo in Folge des directen Anschraubens des Messers an seinen Schlitten die Messerschneide

1) Vergl. p. 4, Fig. 3.

nicht vollständig ausgenutzt werden kann; sie ist überflüssig, steht ein Messerhalter zur Verfügung.

In einem dem Bolzen aufsitzenden Metallkörper befindet sich eine bewegliche, durch Schraube festzustellende Achse, welche an einem abstehenden Arme die Objectklammern trägt. Die Achse vermittelt eine Drehung der Klammer gegen eine Ebene parallel derjenigen des Arbeitstisches. Die entgegengesetzte Bewegung, diejenige in einer Ebene, welche senkrecht auf derjenigen des Tisches steht und parallel mit der Mittelschiene des Mikrotoms führt, wird durch eine die Klammer selbst tragende Achse ermöglicht, die ebenfalls durch Schraube fixirbar ist. Beide Bewegungen genügen für die feine Orientirung des Objectes vollständig.

Ein Nachtheil des beschriebenen Modells ist die Befestigung der Objectklammer an einem abstehenden Arm. Dieser wirkt bei stärkerem, von dem Messer gelegentlich des Schneidens auf das Object ausgeübtem Drucke als Hebel, wodurch der Objectschlitten aus seiner Bahn gehoben werden kann. Allerdings kommt das nur bei recht festen Objecten vor. Weichere Pflanzentheile, um die es sich ja zumeist handelt, schneiden sich so leicht, dass dem hierbei in Betracht kommenden Drucke der massiv gebaute Objectschlitten vollständig gewachsen ist.

Mit dem oben besprochenen Objecthalter lässt sich bei voller Ausnutzung der Schlittenbahn das Object um 3—4 mm heben. Bevor man zum Anschneiden des letzteren kommt, muss man nun häufig eine Paraffinschicht von 1—2 mm Dicke abnehmen. Es ist ferner bei dem Schneiden unbequem, mit dem Messerschlitten bis an die äusserste Grenze der Bahn zu gehen, weil alsdann die Messerbewegung zu sehr beeinträchtigt wird. Für das Object selbst bleibt somit meist nur eine Hebung von 1—2 mm übrig.

Eine solche genügt nun im Grossen und Ganzen dem praktischen Bedürfniss durchaus nicht. Ganz besonders ist das der Fall, wenn, wie das nicht selten vorkommt, 3—10 mm lange Pflanzentheile vollständig aufgearbeitet werden sollen, sei es auch nur, dass man ihnen die Schnitte in bestimmten Abständen entnimmt.

Nun lässt sich allerdings das Object ausspannen, heben und auf's Neue festschrauben. Das macht aber eine vollständig neue Orientirung nothwendig, die, wenn der Pflanzentheil einmal an-

geschnitten ist, ihr Missliches hat. Es lässt sich dabei kaum vermeiden, dass Schnitte verloren gehen.

Als weitaus zweckmässiger erweist sich schon die Benutzung der Verticalverschiebung an dem Stahlbolzen. Immerhin bleibt dieselbe aber eine recht schwerfällige, sie ist auch keine unbedingt zuverlässige. Der Objecthalter gleitet weder leicht noch gleichmässig genug an dem Bolzen auf und nieder, er bewegt sich häufig nur ruckweise, bei welcher Gelegenheit nicht selten der Schlitten aus seiner Bahn gehoben wird. Ferner verschiebt sich dabei der Halter fast immer in der Horizontalebene, und da die Stellung des Messers in dieser keine absolut genaue ist, so leidet darunter auch die einmal vorgenommene Orientirung des Objectes. Man kann nicht mit Sicherheit darauf rechnen, dass die Schnittrichtung dieselbe bleibt. Sie wird häufig von derjenigen der älteren Schnitte, die vor der Hebung des Objectes hergestellt wurden, abweichen.

Noch unzuverlässiger ist die Benutzung planer Metallplatten, welche bei Beginn des Schneidens unter den Messerhalter geschoben und je nach Bedürfniss herausgenommen werden. Das Messer erfährt dann jedesmal eine mehr oder minder bedeutende Aenderung seiner Lage.

Zur Beseitigung dieser Missstände wurde nach meiner Angabe in der mechanischen Werkstätte des Herrn Jung der Objecthalter neu construirt. Der Stahlbolzen erhielt basal ein Schraubengewinde, in dem sich eine grosse Schraubenscheibe bewegt, die ihrerseits den in einem Stahlprisma laufenden Metallkörper trägt, an dem der die Objectklammer haltende, vorspringende Arm befestigt ist. Durch Drehung der Scheibe hebt sich die letztere leicht und gleichmässig. Eine Fixirschraube ermöglicht die Feststellung in jeder Höhe, die im Maximum, einschliesslich der vollen Ausnutzung der Schlittenbahn, 1,3 cm beträgt. Das genügt für unsere Zwecke vollständig.

Bei dieser Construction geht allerdings die Bewegbarkeit der Objectklammer in der oder den Horizontalebenen verloren. Dieselbe hat indessen, wie bereits angeführt wurde, bei der Benutzung eines Messerhalters keine praktische Bedeutung mehr.

Vollkommener als der in dem Jung'schen Preisverzeichniss unter No. 3 aufgeführte, oben beschriebene Objecthalter ist der in

No. 7 desselben Verzeichnisses angebotene. Die Objectklammer wird hier nicht von einem abstehenden Arme getragen, sie ruht vielmehr inmitten eines auf dem Schlitten angebrachten beweglichen Rahmens. Dessen Bewegung sowohl wie diejenige der Klammer selbst erfolgt in senkrecht zu einander stehenden Ebenen. Beide Bewegungen werden, und das ist durchaus zweckmässig, durch Zahn und Trieb vermittelt. Zwei kleine entsprechend angebrachte Hebel dienen zur Fixirung der jeweiligen Lage.

Eine derartige Drehung um zwei Achsen reicht für die feine Orientirung des Objectes, die durch Zahn und Trieb wesentlich schneller und sicherer ausgeführt wird, als aus freier Hand, vollständig aus.

Die aus den bereits angegebenen Gründen wünschenswerthe Verticalverschiebung fehlt auch hier. Nach meinen Angaben hat auch für dieses Modell Herr Jung die entsprechende Neuconstruction vorgenommen.

Der die Objectklammer tragende Rahmen ruht jetzt auf einem mit Zahnstange versehenen Stahlbalken; er besitzt eine die Verticalbewegung vermittelnde prismatische Führung. Ein in die Zahnstange eingreifendes Zahnrad wird durch einen bequem angebrachten Hebelarm in Bewegung gesetzt, dessen Umlegung eine Hebung des Rahmens um 1,2 cm zur Folge hat. Einschliesslich der Benutzung der Schlittenbahn beträgt die Gesammthebung 1,5 cm. Eine Fixirung durch Schraube ist bei der starken, durch die Führung veranlassten Reibung nicht nöthig.

Gerade diese Construction glaube ich als allen Anforderungen entsprechend besonders empfehlen zu sollen.

Kehren wir jetzt, nachdem wir die mechanischen Einrichtungen des Mikrotoms kennen gelernt haben, zu dem eingebetteten Material zurück und sehen wir, welche fernere Behandlung dasselbe zu erfahren hat.

Bei dem Schneiden oder den vorbereitenden Maassnahmen dazu muss stets darauf geachtet werden, dass das Paraffin genügend erkaltet und dementsprechend fest ist. Das wird meist wenige Stunden nach dem Aufschmelzen des das Object einschliessenden Paraffinstückchens auf dem Block der Fall sein. In eiligen Fällen kann man auch die Abkühlung in Wasser vornehmen. An heissen Sommertagen empfiehlt es sich sogar, Eiswasser zu verwenden. Bei einiger Beschleunigung der Arbeit hält eine derartig intensive Ab-

kühlung genügend vor, um — was für weiches Paraffin nicht zutrifft — hinreichend dünne Schnitte zu erzielen.

Bevor man das zu schneidende Material in den Objecthalter einspannt, befestige man die vollständig zurückgedrehte Mikrometerschraube an dem äussersten, dem Arbeitenden zugekehrten Ende ihrer Bahn. Der Objecthalter selbst werde dicht vor diese Schraube gebracht, wobei darauf zu achten ist, dass seine die Verticalbewegung vermittelnde Schraubenscheibe oder eine entsprechend andere Vorrichtung zurückgestellt wurde, die Objectklammer somit ihre tiefste Lage besitzt.

Der die horizontal oder vertical aufgeschmolzenen Paraffinstückchen tragende Paraffinblock werde nun in der Klammer so festgeschraubt, dass ersteres sich noch etwas unter der Messerfläche befindet. Dabei hat man zu berücksichtigen, ob, wie das beispielsweise für Längsschnitte durch Vegetationspunkte wünschenswerth sein kann, das Messer das Object an einer bestimmten Seite zuerst treffen soll. Ferner sorge man schon jetzt dafür, dass die demnächstige Schnittfläche, sei es die bereits vorbereitete, sei es die noch genau herzustellende, schon ungefähr parallel zu der planen Unterseite des Messers läuft.

Hinsichtlich der Behandlung der Schnitte ist es, was die aufzuwendende Arbeit betrifft, vollständig gleichgültig, ob deren wenige oder eine beliebig grosse Zahl auf einem Objectträger vereint sind. Dieserhalb sowohl als zur Vermeidung eines unnützen Aufwandes an Objectträgern und Deckgläsern, der bei dem massenhaften Schnittmaterial gar kein so unbeträchtlicher sein wird, hat man von vornherein darauf zu sehen, dass thunlichst viel Schnitte auf ein und demselben Objectträger untergebracht werden. Das kann, da aus noch zu erörternden Gründen die Paraffinränder der an einander zu reihenden Schnitte sich zuweilen nicht decken dürfen, nur geschehen, wenn den Einzelschnitten wenig Paraffin anhaftet. Das Paraffinstückchen, welches das Object einschliesst, muss noch vor Beginn der Arbeit entsprechend zurechtgeschnitten werden. Das ist so vorzunehmen, dass, ausgehend von dem Arbeitenden, links und rechts vor dem Object selbst eine noch mindestens ein Millimeter starke Paraffinschicht verbleibt. Die so entstehenden Kanten sollen parallel mit der Mittelschiene des Mikrotoms verlaufen.

An der dem Arbeitenden abgewandten Seite, derjenigen, an welcher das Messer ansetzt, lasse man eine etwa 3 mm dicke Paraffinlage bestehen. Es ist von praktischer Bedeutung, dass das Messer, bevor es an das Object gelangt, eine Paraffinschicht von der genannten Stärke durchschneidet. Die Schnitte reissen dann nicht leicht aus dem Paraffin, es lässt sich vor Allem das oft recht unangenehme Rollen derselben unschwer verhindern.

Zweckmässig erscheint es ferner, das Paraffinstückchen hier so zuzuschneiden, dass das Messer es sofort voll trifft. Je nachdem dieses „quer" oder „längs" gestellt wird, ist somit eine senkrecht oder geneigt zur Mittelschiene des Mikrotoms verlaufende Fläche angezeigt.

Die dem Arbeitenden zugekehrte Seite endlich werde thunlichst knapp und dabei scharfkantig zurechtgeschnitten. Das Paraffinstückchen laufe hier spitz, in Form eines Daches aus. Es bezweckt das die leichte Abnahme der Schnitte. Einen genügenden Härtegrad des Paraffins vorausgesetzt, hat man dann nicht zu befürchten, dass die Schnitte an dem Messer festkleben. Sie heben sich vielmehr zum allergrössten Theil von diesem ab und haften ihm nur an der zugespitzten Stelle leicht an.

Sollen die Schnitte zusammenhängen und ein Band bilden, das als solches auf den Objectträger übertragen wird, so muss das das Object umschliessende Paraffinstückchen folgendermaassen zurechtgeschnitten werden. Die von dem Messer zunächst zu treffende Kante werde parallel mit der Messerschneide hergestellt, die dem Arbeitenden zugekehrte ebenfalls. Der hintere Rand des einen Schnittes klebt dann dem vorderen des nachfolgenden leicht an. Durch hobelnde Bewegung lässt sich das Object schnell zerschneiden.

Für botanische Zwecke möchte ich dieses Verfahren nicht gerade empfehlen. Es ist nur anwendbar, wo es sich um ganz weiche Pflanzentheile, mit denen wir, wie noch ausgeführt werden wird, durchaus nicht immer zu thun haben, handelt. Andrerseits setzt es voraus, dass das Object fortlaufend geschnitten und so ziemlich vollständig aufgearbeitet wird. Auch diese Voraussetzung trifft — und wir werden uns auch damit noch zu befassen haben — verhältnissmässig nur selten zu. Bei vielen, wenn nicht den meisten unserer Objecte kommt es eigentlich nur auf eine Anzahl von Schnitten an, die einer bestimmten mehr oder minder umfang-

reichen Stelle des Pflanzentheils zu entnehmen sind. Es empfiehlt sich deshalb zur Vermeidung eines Ballastes unnützer Schnitte, sich durch directe Prüfung einzelner solcher unter dem Mikroskop zu überzeugen, ob man dieser Stelle nahe ist. Erst wenn das der Fall, beginne man mit dem Aufbewahren des Schnittmaterials.

Nach dem Zurechtschneiden des Paraffinstückchens werde die feine Orientirung des von demselben eingeschlossenen Objectes vorgenommen, wobei ausschliesslich die oben beschriebenen mechanischen Vorrichtungen des Objecthalters zur Benutzung kommen. Vermittelst derselben bewege man, sei es durch Einstellung aus freier Hand, sei es durch Zahn und Trieb, das Object in den beiden sich senkrecht schneidenden Ebenen und bringe es definitiv in die richtige Lage. Dabei führt man das Messer langsam über der demnächstigen Schnittfläche her und stellt sie genau parallel zu dessen planer Unterseite ein.

War bereits, wie das für die vertical aufgeschmolzenen Objecte zutrifft, eine vorläufige Schnittfläche hergestellt, so lässt sich eine derartige Orientirung besonders leicht ausführen. Man fixire die gegebene Lage durch Anziehen der an dem Objecthalter angebrachten Hebel oder Schrauben und hebe das Object unter Benutzung der die Verticalbewegung vermittelnden Schraubenvorrichtung bis an die Messerschneide. Ist auch diese Stellung fixirt, so kann mit dem Schneiden begonnen werden. Die fernere Hebung des Objectes erfolge dann unter Verschiebung des Objectschlittens in seiner Bahn bei ausschliesslicher Benutzung der dem Schlitten dicht angedrückten und hier befestigten Mikrometerschraube.

Handelt es sich, wie das beispielsweise für Längsschnitte zutrifft, um dem Paraffinblocke horizontal aufgeschmolzene Objecte, so leite man, ebenfalls unter Berücksichtigung der planen Unterseite des Messers, die feine Orientirung ein. Bei dem Fehlen einer vorläufigen Schnittfläche diene das Object selbst als Anhaltspunkt, das ja der Oberfläche — sie entspricht der Paraffinschicht, welche am Boden des Glasgefässes erstarrte — aus bereits erörterten Gründen genähert sein muss und hier ziemlich deutlich durchscheint.

Die Verticalverschiebung, die Fixirung, die Befestigung der Mikrometerschraube etc. erfolge wie oben angegeben. Dann schneide man, sei es unter Benutzung dieser Schraube, sei es unter directer

Hebung der Objectklammer, an und nehme eine entsprechend dünne Paraffinschicht — das Object darf noch nicht getroffen werden — ab. Jetzt ist man dem letzteren ganz nahe, seine Lage lässt sich genau beurtheilen. Stellt sich hierbei heraus, dass man bei der Einleitung der Orientirung das Richtige getroffen hat, so kann mit dem Schneiden sofort begonnen werden. Andernfalls ist auf die oben beschriebene Weise neu einzustellen. Die Längsachse des nunmehr deutlich sichtbaren Objectes muss parallel mit der planen Unterseite des Messers verlaufen.

Die auf diesem Wege zu Stande kommende Orientirung wird in den meisten Fällen die endgültige sein. Ausgeschlossen ist es indessen nicht — und das betrifft besonders difficile Objecte —, dass alle oder nur einzelne Schnitte nicht ganz scharf längs verlaufen. Während der Arbeit, besonders aber beim Beginn des Schneidens, darf man daher nicht unterlassen, die Schnittrichtung von Zeit zu Zeit zu controlliren. Bei einiger Uebung reicht hierfür meist die Beobachtung der Schnittfläche mit der Lupe aus. Ist man unsicher, so prüfe man Einzelschnitte, auf deren Aufbewahrung es nicht ankommt — es sind das gewöhnlich die ersten der Serie —, direct unter dem Mikroskop. Nöthigenfalls muss die entsprechende neue Einstellung vorgenommen werden.

Gerade für eine solche während der Arbeit sind Objecthalter, an denen die Bewegung der Klammer durch Zahn und Trieb vermittelt wird, die angenehmsten. Geringe Differenzen der Stellung lassen sich an ihnen am schnellsten und sichersten ausgleichen.

Bevor man mit dem Schneiden beginnt, hat man die zur Aufnahme der Schnitte bestimmten Objectträger vorzubereiten.

In Bezug auf die Wahl der letzteren sei bemerkt, dass sich die rechteckige Form und ein grosses Format am meisten empfehlen. Das Vereinsformat — 28 : 58 mm — reicht, was den letzteren Punkt anlangt, nicht für alle Fälle aus. Sollen einigermaassen umfangreichere Schnitte einer selbst verhältnissmässig kleinen Serie untergebracht werden, so bedarf es schon einer bedeutenden Zahl derartiger Objectträger. Dabei fällt weniger der Verbrauch an solchen als der bereits hervorgehobene Umstand in's Gewicht, dass sich mit jedem Objectträger, einerlei wie viele oder wie wenige Schnitte er trägt, die für die Präparation aufzuwendende Arbeit vervielfacht.

Aus denselben Gründen wähle man auch grosse Deckgläser. In manchen Fällen ist es sogar zweckmässig, sich dieselben selbst zurechtzuschneiden und dabei bis nahe zur Grösse des Objectträgers zu gehen. Ganz abgesehen von dem grösseren, durch zahlreiche zur Verwendung kommende Objectträger bedingten Arbeitsaufwand hat es für die mikroskopische Beobachtung sein Angenehmes, die Schnitte umfangreicher Serien thunlichst zu vereinigen.

Ist man in Bezug auf die Unterbringung des Schnittmaterials im Klaren, wurden dementsprechend Objectträger und Deckgläser ausgesucht, so bezeichne man, bevor man die Schnitte aufsetzt, die ersteren. Wir werden noch sehen, dass die Objectträger in Bäder mit verschiedenen Flüssigkeiten gebracht werden müssen, wobei es nicht wohl angeht, sich ihre Lage genau zu merken. Man weiss alsdann schliesslich nicht, und es ist auch häufig schwer, das unter dem Mikroskop festzustellen, mit welchen Schnitten die Serie beginnt, eventuell wo sie in Folge der Benutzung mehrerer Objectträger unterbrochen ist. Ferner hat es, da in demselben Gefäss sich häufig Objectträger mit ganz verschiedenen Präparaten befinden, nicht selten seine Schwierigkeit, oder es ist zum mindesten zeitraubend, die Abstammung festzustellen und dementsprechend zu etiquettiren.

Alle diese Uebelstände sind zu vermeiden, wenn man gleich bei Beginn der Arbeit vermittelst eines Schreibdiamanten die Markirung vornimmt. An der einen Schmalseite des Objectträgers werde eine römische Zahl eingeritzt, die man sich unter Hinzusetzung der Abstammung des Präparates aufnotirt. Eine zweite arabische Zahl beziehe sich auf die Schnittserie. Der erste zur Verwendung kommende Objectträger werde mit 1, der zweite zu derselben Serie gehörige mit 2 u. s. f. bezeichnet. Das Aufsetzen der Schnitte ist dann so vorzunehmen, dass stets ausgehend von dieser Bezeichnung begonnen und von links nach rechts fortgeschritten wird. Ist eine Reihe abgeschlossen, so fängt man die neue wieder an der markirten Seite an und fährt so bis zur Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Raumes fort. In letzterer Hinsicht dienen die entsprechenden unter die Objectträger gelegten Deckgläser als Anhaltspunkte.

Bei der Behandlung der Schnitte ist deren Fixirung auf dem Objectträger vorausgesetzt. Hierzu verwendet man zweckmässiger-

weise ein aus 1 Theil Collodium und 2 Theilen Nelkenöl bestehendes Gemisch. Dasselbe werde nicht in grösseren Quantitäten, sondern ungefähr für den Bedarf eines Monats hergestellt. Aeltere Gemische verlieren an Klebkraft, man macht dann besonders bei umfangreichen Schnitten leicht die unangenehme Erfahrung, dass diese sich während der Behandlung mit Wasser etc., sei es ganz, sei es theilweise, von dem Objectträger loslösen und davonschwimmen oder sich zusammenlegen.

Ferner habe ich häufig gefunden, dass das die Unterlage der Schnitte bildende Collodiumhäutchen eine zwar leichte, aber immerhin die mikroskopische Beobachtung störende Trübung erfahren kann. Dieselbe pflegt zwar bei der Benutzung von Glyceringelatine als Einschlussmittel nach einiger Zeit von selbst zu verschwinden, es ist indessen besser, sie durch häufigere Erneuerung des Klebstoffes überhaupt zu vermeiden.

Mit letzterem bestreiche man nun vermittelst eines nicht zu starken Haarpinsels, der zweckmässigerweise so an dem Korke des Gefässes befestigt wird, dass er in den Klebstoff eintaucht, den Objectträger. Das geschehe in einer der Grösse des gewählten Deckglases entsprechenden Ausdehnung. Die Schicht werde sehr dünn und dabei gleichmässig aufgetragen. Besonders bei Beginn der Arbeit, zu einer Zeit, wo alles Aufgebrachte anklebt, sollte jede Verunreinigung der bestrichenen Fläche vermieden werden. In dieser Hinsicht ist besonders auf die aus dem Pinsel etwa ausfallenden Haare zu achten.

Den auf die angegebene Weise vorbereiteten Objectträger lege man auf die Mittelschiene des Mikrotoms nahe dessen Mikrometerschraube[1]). Alsdann kann mit dem Schneiden begonnen werden.

Ueber das letztere selbst lassen sich genaue Vorschriften nicht wohl geben. In der Praxis wird sich Jeder ein ihm bequemes

---

1) Nachträgl. Anmerkung. Bequemer und sicherer ist die Benutzung eines Objecttischchens, das ich neuerdings anfertigen liess und das aus der mechanischen Werkstätte des Herrn Jung in Heidelberg bezogen werden kann. Dieses Tischchen läuft in dem Messerschlitten des Mikrotoms, seine über der Mittelschiene des Instrumentes befindliche Platte lässt sich bis dicht an das Messer schieben. Die letztere besteht aus matt geschliffenem Glas, auf welches man die entsprechende Deckglasgrösse zeichnen kann. Der aufgelegte Objectträger ist durch Klammern fixirbar.

Verfahren heranbilden. Als allgemeine Regel gelte es, das Messer ohne besonderen Kraftaufwand zu führen und den Messerschlitten ziemlich langsam, dabei aber gleichmässig zu bewegen. Besonders nothwendig ist eine derartige Führung während des Durchschneidens des Objectes. Gerade hier muss das Messer ohne jedes Zögern und mit einer gewissen Sicherheit gehandhabt werden. Man darf auf keinen Fall absetzen und den einmal begonnenen Schnitt, wenn auch nur für Augenblicke, unterbrechen.

Zweckmässig habe ich es gefunden, die rechte Hand der Kante der der Messerführung dienenden grossen Schiene des Mikrotoms aufzulegen, mit dem kleinen Finger den Messerschlitten in Bewegung zu setzen und mit einer von dem Zeige- und Mittelfinger gehaltenen Präparirnadel die Ausführung des Schnittes zu überwachen. Man behält alsdann eine Hand für die Mikrometerschraube frei.

Die Präparirnadel sei ziemlich stark gebogen und nicht zu lang. Sie besitze eine genügende Dicke, um nicht oder nur unbedeutend zu federn und bestehe aus Messing, einem dem Messer gegenüber weichen Metall. Wenngleich man sich möglichst zu hüten hat, mit der Nadel die Messerschneide zu berühren, so sind doch derartige Fälle niemals ganz ausgeschlossen. Die Messingnadel gefährdet die Schneide des Messers noch am wenigsten.

Die Stellung der letzteren richte sich nach dem zu bearbeitenden Object. Sie erfolge senkrecht zur Mittelschiene des Mikrotoms, ist dasselbe weich, sie werde dagegen etwas geneigt zu dieser genommen, ist es härter oder besitzt es ein ungleich festes Gefüge.

Gelegentlich des Ueberwachens der Schnitte mit der Nadel verhüte man das Rollen sowie das Ausreissen aus dem Paraffin, oder, wozu Pflanzentheile von ungleich festem Gefüge nicht selten neigen, das Ausreissen bestimmter Gewebe. Das Nähere hierüber wird in dem speciellen Theil dieser Arbeit zu sagen sein. Hier genüge es anzuführen, dass in Bezug auf ersteren Punkt die sich beim Anschneiden abhebende Paraffinscheibe leicht mit dem Rücken der Nadel niedergehalten werden soll. Im weiteren Verlauf des Schnittes hat man dann, zur Vermeidung der letzterwähnten Ausreissungen, den Nadelrücken, während das Messer unter ihm hergeht, ganz sanft der gefährdeten Stelle anzudrücken.

Fälle der letztgenannten Art sind im Grossen und Ganzen selten.

Das Rollen der Schnitte dagegen kommt häufig vor. Zur Verhütung desselben kann man sich auch eines sogenannten Schnittstreckers — einer an dem Messer zu befestigenden, die Schnitte vermittelst eines Metallstabes niederhaltenden Vorrichtung — bedienen. Nothwendig ist indessen eine solche nicht. Bei einiger Uebung arbeitet man mit der Präparirnadel fast ebenso schnell, die Nadel gestattet ausserdem ein besseres Ueberwachen und ein leichteres Abnehmen der Schnitte.

Hat man während der Herstellung des Schnittes mit dem Rücken der Nadel operirt, so dreht man sie jetzt, nach dessen Herstellung, herum und fasst mit der Spitze den Schnitt. Das geschehe an seiner scharf zugeschnittenen, dem Arbeitenden zugekehrten Seite. Das Object soll dabei nicht gepackt werden, man halte sich stets an die ihm anhängende Paraffinschicht.

Mit der gefassten Seite werde der Schnitt auf die bestrichene Fläche des Objectträgers gesetzt. Die ferneren Schnitte reihe man dem ersten an. Das unter dem Objectträger gelegte Deckglas oder ein entsprechend zurechtgeschnittenes Papier diene als Anhaltspunkt für das Aufsetzen.

Soll eine Einschlussmasse Verwendung finden, die, wie Glyceringelatine etc., das nachträgliche Umfahren des Deckglases mit Lack unnöthig macht, so kann man beim Auflegen der Schnitte bis zur äussersten, durch das untergelegte Deckglas markirten Grenze gehen, die bestrichene Fläche also ausgiebig ausnutzen. Andernfalls werde mindestens ein 3 mm breiter Rand frei gelassen. Da hiermit ein nicht unbedeutender Raumverlust verbunden, ein solcher aber aus schon erörterten Gründen thunlichst zu vermeiden ist, so empfiehlt sich schon deshalb das erwähnte Einschlussmittel.

Die von dem Messer abgenommenen Schnitte sind, selbst wenn man das Rollen verhindert hat, noch mehr oder minder stark gebogen. An der bestrichenen Fläche des Objectträgers haften sie zunächst mit dem scharf zugespitzten zuerst aufgesetzten Ende. Man wartet nun, indem man die Serie beendigt, ab, ob sich die Schnitte von selbst glatt auflegen. Geschieht das nicht, so ist der vollständig beschickte Objectträger über einer g a n z s c h w a c h e n Flamme hin und her zu bewegen. Die g e r i n g s t e Erwärmung — jede stärkere muss ängstlich vermieden werden — bewirkt bereits das gewünschte Auflegen.

Mit ganz besonderer Vorsicht hat man bei umfangreicheren und besonders bei solchen Schnitten zu verfahren, die sehr lang und schmal sind. War die Erwärmung auch nur im mindesten zu stark, so fallen sie zusammen oder sie schlagen Falten. Es erfordert einige Uebung, um hinsichtlich der Wärmegrade das Richtige zu treffen.

Selbst dessen richtige Anwendung vorausgesetzt ist, und zwar aus anderen Gründen, das Faltenschlagen nicht ganz ausgeschlossen. Es kommt vor, wenn Schnitte der genannten Art sich mit den Paraffinrändern gegenseitig decken oder selbst nur berühren und damit am gleichmässigen Auflegen hindern. Hierauf werde bereits beim Aufsetzen Rücksicht genommen.

Sind die Schnitte sehr klein, legen sie sich von vornherein gut auf, so schadet dagegen ein dichtes Aneinanderreihen nichts. Es kann sich alsdann sogar zum Zwecke völliger Ausnutzung des Objectträgers empfehlen, die Schnitte ziegelartig, aber so, dass sich die Objecte selbst nicht berühren, übereinander zu schichten.

Neben der Anwärmung leistet auch die Präparirnadel, mit der man die Schnitte langsam niederdrückt, gute Dienste. Von ihr ist bei difficilen Schnitten, den langen und schmalen beispielsweise, kurz nach dem ersten Aufsetzen, also nachdem die Schnitte an einer bestimmten Stelle schon ziemlich fest ankleben, Gebrauch zu machen. Das Verfahren lässt sich aber auch oft dann noch mit Vortheil anwenden, wenn sich die Schnitte in Folge der eingeleiteten Erwärmung eben zu legen beginnen. Besonders widerspänstigem Material oder solchem, das eine falsche Lage anzunehmen droht, kann auf diese Weise oft noch die richtige gegeben werden.

Ist, bevor die Serie vollendet wurde, die Mikrometerschraube zu Ende gedreht, so werde die Einschnappvorrichtung ausgeschaltet, die Schraube zurückgedreht und gegen den Objectschlitten hin versetzt. Vor dem Fixiren der Schraube drücke man diese dem Schlitten leicht, und ohne dass eine Verschiebung des letzteren eintritt, an.

Bei dem ersten der nun zu entnehmenden Schnitte functionirt die Mikrometerschraube, oder besser gesagt der Objectschlitten, noch nicht ganz zuverlässig. Der hergestellte Anschluss beider wird nie ein so scharfer sein, wie früher während der Arbeit. Ein Bruchtheil der Schraubenbewegung, gewöhnlich $^1/_3$ der Umdrehung, pflegt ver-

loren zu gehen. Hierauf ist bei der Herstellung des ersten der neuen Schnitte, den man auf eine anscheinend bedeutendere Schnittdicke einstellt, Rücksicht zu nehmen. Hat die Schraube den Objectschlitten erst einmal gefasst und in Bewegung gesetzt, so arbeiten beide wieder vollständig exact.

Eine Voraussetzung hierfür ist allerdings das Reinhalten der Schlittenbahnen. Verunreinigungen der verschiedensten Art, besonders die in Menge abfallenden und hier nicht selten festklebenden Paraffinschnitzel, beeinträchtigen natürlich die Genauigkeit der Schlittenbewegung. Man gewöhne sich deshalb daran, das Instrument nach jedesmaligem Gebrauch sorgfältig zu reinigen. Hiermit wird zweckmässigerweise die Einölung, welche besonders in Bezug auf den Messerschlitten eine reichliche sein soll, verbunden.

Die Benutzung der Verticalverschiebung des Objecthalters, sei es durch die Schraubenscheibe, sei es durch andere mechanische Vorrichtungen, wird während des Schneidens dann nothwendig, wenn man vertical aufgeschmolzene, sehr lange Objecte verarbeitet. Das trifft auch dann zu, wenn diesen die Schnitte nur in bestimmten, zu messenden Abständen entnommen werden sollen. Nach Ausnutzung der Schlittenbahn gebe man alsdann der Mikrometerschraube wieder die ursprüngliche Stellung, führe den Objectschlitten hierher zurück und hebe vermittelst der erwähnten Vorkehrungen das Object bis gegen die Messerschneide. Dabei lasse man diese, zur Controlle, ob die Orientirung vollständig die gleiche geblieben ist, zunächst dicht über der Schnittfläche hin und her gehen. Von der dem Objectschlitten neu gegebenen Lage ausgehend werde, durch Ablesung der groben Verschiebung, die entsprechende Messung an der grossen Millimeterscala des Mikrotoms vorgenommen.

Nicht selten wird man auch aus anderen als den erwähnten Gründen die Verticalverschiebung benutzen. Es ist bequemer in der Mittelregion des Instrumentes zu arbeiten und die beiderseitigen Schlittenbahnen nicht voll auszunutzen, zumal schliesslich, wie bereits erwähnt wurde, die Messerbewegung eine sehr beschränkte wird.

Die Leistungsfähigkeit des mittleren Modells des Mikrotoms in Bezug auf die Schnittgrösse richtet sich nach der Beschaffenheit der Objecte. Sind dieselben sehr weich, so lassen sich mit Leichtigkeit

noch Schnitte von über einem Quadratcentimeter erzielen. Härtere Objecte dagegen, hierher zählen auch solche, welche, wie beispielsweise die Wurzeln von Scorzonera, erst in Folge der Durchtränkung mit Paraffin recht fest werden, lassen nur kleinere Schnitte zu und müssen dementsprechend zurechtgeschnitten werden. Das Nähere hierüber wird in dem speciellen Theil dieser Arbeit zu sagen sein.

Liegen die Schnitte dem Objectträger flach auf, so hat man eine Erwärmung eintreten zu lassen, die gerade hinreicht, um das ihnen anhaftende Paraffin zum Schmelzen zu bringen. Es ist dieserhalb am sichersten, die Präparate in den Wärmeschrank zu bringen und hier so lange zu lassen, bis wenigstens der grösste Theil des in dem Klebmittel vorhandenen Nelkenöls sich verflüchtigt hat.

Schneller kommt man durch directes Erwärmen über der Flamme zum Ziel. Besonders für Ungeübte ist aber ein derartig abgekürztes Verfahren nicht ohne Bedenken. Die in dem schnell schmelzenden Paraffin befindlichen Schnitte sind nur zu leicht sehr hohen Temperaturen ausgesetzt, man läuft Gefahr, dass sie noch in dem letzten Augenblick verderben. Jedenfalls sei hier grosse Vorsicht anempfohlen.

Die Schnitte sind jetzt auf der Collodiumhaut fixirt. Geschmolzenes und wiedererstarrtes Paraffin umgiebt sie. Sie lassen sich in diesem Zustande beliebig lange aufbewahren, und es ist zweckmässig das zu thun und erst eine grössere Zahl von Objectträgern zusammenkommen zu lassen, bevor man an die weitere Behandlung geht.

Alsdann ist zunächst das Paraffin von den Schnitten zu entfernen. Zu diesem Zwecke werden die Objectträger in eine flache, bis zu einem Drittel mit Terpentinöl gefüllte Schale gebracht, in der sie mindestens eine Viertelstunde verbleiben. Ein derartig hergerichtetes Bad lässt sich Monate lang benutzen. Enthält es in Folge dessen bereits viel Paraffin, so ist der Aufenthalt der Schnitte in ihm entsprechend zu verlängern.

Reines Terpentinöl löst das Paraffin sehr schnell. Es dringt auch leicht in die verschiedensten pflanzlichen Gewebe ein. Schon während des Schneidens hat man von diesen Eigenschaften ausgiebigen Gebrauch zu machen.

Schnitte, auf deren Erhaltung es nicht besonders ankommt —

es sind gewöhnlich die ersten einer Serie — werden häufig auf die Schnittrichtung hin untersucht. An anderen — es handelt sich in diesen Fällen darum, das Object nur an einer bestimmten Stelle zu schneiden — hat festgestellt zu werden, wie weit man noch von der betreffenden Stelle entfernt ist. Auch die Beschaffenheit der Präparate, insoweit sie sich auf besondere Gewebe oder die Inhaltsbestandtheile von Zellen bezieht, deren Studium man speciell beabsichtigt, bedarf häufig der vorläufigen Prüfung. Hängt es doch nicht selten von deren Ergebniss ab, ob es überhaupt einen Zweck hat, weiter zu schneiden. Endlich sind auf diesem Wege noch Fragen über die Schnittdicke, die Ausdehnung einer Serie bei grösseren Objecten, die Wahl des Abstandes der Schnitte bei Pflanzentheilen, die nicht fortlaufend geschnitten werden sollen, etc. zu beantworten, bevor man erfolgreich weiterarbeiten kann.

In allen diesen Fällen werden Einzelschnitte in einen dem Objectträger aufgegebenen Tropfen reinen Terpentinöls gebracht und sofort mikroskopisch untersucht.

Sollte sich hierbei herausstellen, dass anatomische Details vorhanden sind, welche das Aufbewahren auch dieser Schnitte als wünschenswerth erscheinen lassen, so kann man dieselben auch mit den gleich näher anzugebenden Flüssigkeiten weiter behandeln und endgültig einschliessen. Gegenüber den auf den Objectträgern fixirten Präparaten erfordert indessen ein derartig loses Schnittmaterial eine verhältnissmässig bedeutende Arbeit, die vorzunehmen man sich nur in Ausnahmefällen, und wenn zwingende Gründe vorliegen, entschliessen wird.

Bei der Häufigkeit der Prüfung von Einzelschnitten empfiehlt es sich, Terpentinöl in einem Glasfläschchen zu halten, das mit einem eingeschliffenen, dünn ausgezogenen Glasrohr verschlossen ist und an seinem aus der Flasche hervorragenden Ende eine kleine Gummikappe trägt. Diese Vorrichtung gestattet, Tropfen von jeder beliebigen Grösse leicht und schnell dem Objectträger aufzugeben.

Die in dem Terpentinbad befindlichen fixirten Schnitte werden nach Ablauf der angegebenen Zeit herausgenommen. Dann spült man mit einigen Tropfen reinem Terpentinöl und dann mit absolutem Alkohol beide Seiten des Objectträgers ab und bringt den letzteren in eine ebenfalls flache Schale, welche von letztgenannter

Flüssigkeit mindestens so viel enthält, dass die Schnitte völlig untertauchen.

Die letzteren müssen natürlich ebenso wie in dem Terpentinbad nach oben zu liegen kommen. Während indessen hier in Folge des anhaftenden Paraffins die Oberseite des Objectträgers leicht als solche kenntlich ist, lässt sie sich jetzt, nach der Entfernung des Paraffins, keineswegs immer auf den ersten Blick feststellen. Das trifft besonders dann zu, wenn die Schnitte sehr dünn und dementsprechend sehr durchsichtig sind. In Zweifelsfällen halte man sich daher an die auf der Oberseite vermittelst des Diamantes eingeritzte Zahlenbezeichnung.

Der Aufenthalt in dem Alkoholbad währe mindestens eine Viertelstunde. Den herausgenommenen Objectträger spüle man dann, indem man die Flüssigkeit über den Schnitten hin und her fliessen lässt, mit absolutem Alkohol ab. Alsdann werde der Objectträger in ein Gefäss mit Wasser gebracht. Tritt hier eine milchige Trübung ein, so war die Behandlung mit Alkohol eine ungenügende und muss wiederholt werden.

Das Alkoholbad benutze man nur wenige Tage und bedecke es mit einer gut schliessenden Glasplatte. Trotzdem ist das Anziehen von Wasser kaum zu vermeiden, es wird gewöhnlich nothwendig, die Objectträger der später zu behandelnden Schnitte mit absolutem Alkohol ziemlich ausgiebig abzuspülen.

Das Wasser benetzt die aus dem letzteren kommenden Schnitte nur schwer. Bleibt der Objectträger ruhig im Wasserbad liegen, so kann es längere Zeit dauern, bis die Flüssigkeit überhaupt eindringt und den Alkohol verdrängt. Man beschleunige diesen Vorgang durch Bewegen des Objectträgers im Bade. An dem gleichmässigen Abfliessen des Wassers von der Objectplatte lässt sich erkennen, ob das Eindringen der Flüssigkeit in das Object bereits begonnen hat.

Eine Bewegung des Gefässes ist übrigens auch während des Verbleibens der Schnitte im Alkoholbad angezeigt.

In dem Wasser bleiben die Präparate mehrere Stunden. In Folge der zur Einbettung gehörigen Behandlung waren sie vollständig entwässert. Das führt nicht selten zu einer gewissen Sprödigkeit der Zellwände oder selbst zu leichten Färbungen der-

selben. Unter Wiederaufnahme von Wasser wird der frühere Zustand meist wieder hergestellt, es können sich sogar inzwischen etwa eingetretene leichte Gewebeschrumpfungen ausgleichen.

Aehnliches ist allerdings auch bei der Verwendung von Glyceringelatine als Einschlussmittel der Fall. Die Schnitte entziehen der Gelatine ebenfalls Wasser. Das geht aber sehr langsam von Statten, so dass es zweckmässiger erscheint, die Objectträger sammt Präparaten die entsprechende Zeit in Wasser zu belassen.

Die dem Wasserbade entnommenen Objectträger bedürfen nur zu sehr der Reinigung. Es pflegt ihnen meist von dem Terpentinbad herrührender Schmutz in nicht unbeträchtlicher Menge anzuhaften. Steht eine Wasserleitung zur Verfügung, so lasse man einen bedeutend abgeschwächten, nicht über 4 mm dicken Wasserstrahl einige Zeit über den Objectträger hinlaufen. Die Schnitte sollen dabei nicht direct getroffen werden. Obwohl sie in den meisten Fällen genügend festkleben, um einen derartig abgeschwächten Strahl auch direct zu vertragen, so ist man in dieser Hinsicht doch nie ganz sicher und verfährt am besten vorsichtig.

Fehlt die Wasserleitung, so kann man auch mit einer Spritzflasche die Abspülung vornehmen. Es werde hierbei nicht der scharfe Strahl der Ausflussröhre, sondern der schwache des Einblasrohres in der angegebenen Weise benutzt.

Dass den Schnitten ein längeres Verweilen in den einzelnen Bädern als das angegebene nichts schadet, sei noch erwähnt. Die Arbeit lässt sich somit jederzeit unterbrechen oder nach Bequemlichkeit aufnehmen. Durch Massenbehandlung der mit Präparaten beschickten Objectträger spart man nicht unbedeutend an Zeit.

Die Benutzung eines Terpentinbades ist, da sich dasselbe lange hält, unter allen Umständen angezeigt. Die Herstellung eines Alkoholbades dagegen wird zweckmässigerweise nur dann vorgenommen, wenn es sich um die erwähnte Massenbehandlung handelt. Kommen dagegen nur wenige oder gar nur ein Objectträger in Frage, so ist ihnen der Alkohol direct aufzugiessen. Man hält den Objectträger dabei horizontal und lässt unter häufiger Erneuerung der Flüssigkeit diese über den Schnitten hin und her fliessen.

Die mit Wasser ausreichend abgespülten und vom Schmutze

befreiten Präparate können sowohl in reinem Glycerin als auch in Glyceringelatine, die entsprechend zuzubereiten und mit etwas Carbolsäure zu versetzen ist, eingeschlossen werden. Da in ersterem Falle ein Lackrand nöthig wird, der einerseits die räumliche Ausnutzung des Objectträgers bedeutend beeinträchtigt, andrerseits wenigstens auf die Dauer doch nicht genügend dicht schliesst, um das Austreten von Glycerin vollständig zu verhindern, so gebe ich der Glyceringelatine entschieden den Vorzug[1]). Hält man dieselbe in einem der gelegentlich der Prüfung der Einzelschnitte oben empfohlenen, mit Glasrohr und Gummikappe versehenen Fläschchen vorräthig, befindet sich dieses während der Arbeit in einem mässig erwärmten Wasserbad, so lassen sich, ohne dass ein Schäumen der Gelatine zu befürchten ist, Tropfen von jeder beliebigen Grösse leicht und bequem den einzuschliessenden Schnitten aufgeben.

Ausserdem hat die Gelatine den für dünne Schnitte nicht zu unterschätzenden Vorzug, dass sie weniger stark aufhellt, als reines Glycerin.

Arbeitet man mit dem Mikrotom, so ist bei dem dünnen Schnittmaterial, das man erhält, gerade hierauf Gewicht zu legen. Es wäre ja einfacher, an Stelle der Glyceringelatine eine Lösung von Canadabalsam, die direct nach der Herausnahme der Schnitte aus dem Terpentinöl aufgegeben werden kann, zu verwenden. Ein derartiges Einschlussmittel hat auch, worüber hinsichtlich der Glyceringelatine noch kaum genügende Erfahrungen vorliegen, den Vorzug, den Präparaten eine unbegrenzte Haltbarkeit zu verleihen. Andrerseits ist aber die aufhellende Kraft eine so grosse, dass das Studium derartig eingeschlossener Schnitte ausserordentlich erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht wird.

---

1) Ueber die Herstellung einer tadellosen Glyceringelatine bemerkt E. Kaiser, Bot. Centralblatt Bd. I, p. 25, Folgendes: „Man weicht einen Gewichtstheil feinster französischer Gelatine in sechs Gewichtstheilen destillirten Wassers ca. 2 Stunden lang; setzt darauf 7 Gewichtstheile chemisch reinen Glycerins hinzu und giebt auf je 100 Gramm der Mischung 1 Gramm concentrirte Carbolsäure. Sodann wird das gesammte Gemisch 10—15 Minuten lang unter beständigem Umrühren erwärmt, bis alle Flocken, welche sich beim Hineinschütten der Carbolsäure gebildet haben, verschwunden sind. Schliesslich filtrirt man die Abkochung noch warm durch feinste Glaswolle, welche man zuvor in destillirtem Wasser ausgewaschen und noch nass in den Trichter gelegt hat."

Zum mindesten erfordert das Einschliessen in Canadabalsam die Anwendung von Färbemitteln. Man kann, wie das auch schon bereits geschah, das Object ganz, also vor dem Einbetten in Paraffin, färben. Ebenso ist es zulässig, die Färbung an den bereits hergestellten Schnitten vorzunehmen. Hierauf möchte ich indessen, da diese Dinge ausserhalb des Rahmens der vorliegenden Arbeit liegen und bei ihrer Wichtigkeit für bestimmte Zwecke auch einer speciellen Untersuchung bedürfen, hier nicht näher eingehen. Erwähnt sei nur, dass wenigstens gegen eine allgemeine Einführung der Färbung verschiedene Gründe vorliegen.

Der eine geringfügigere besteht in der Complication des Verfahrens überhaupt. Schwerer und, wo die Eleganz des Präparates in Betracht kommt, ausschlaggebend fällt es in's Gewicht, dass dieses vollständig wasserfrei ist und es bei der Benutzung von Canadabalsam als Einschlussmittel auch bleiben muss. Es wurde schon darauf hingewiesen, welche Nachtheile das mit sich bringt. Bestimmte und darunter besonders wasserreiche, dünnwandigere Gewebe geben sich häufiger in Folge der Härte oder der Sprödigkeit ihrer Zellwände nicht ganz in dem früheren Zustand, demjenigen der Turgescenz. Diese Wände sind dann nicht mehr straff gespannt, sondern leicht gebogen etc., Schädigungen, welche nur durch eine nachfolgende Behandlung mit Wasser wieder beseitigt werden können.

Widerstandsfähiger erweist sich der Protoplasmakörper und der Zellinhalt überhaupt, welche wenigstens bei jugendlichen Geweben in den meisten Fällen völlig intact bleiben. In Bezug hierauf hat die Färbung unter Verwendung des Canadabalsams als Einschlussmittel nichts Bedenkliches.

Schliesst man in Glyceringelatine ein, so ist zunächst der Objectträger durch Abwischen mit einem Tuch zu trocknen. Es geschehe dies an der Unterseite vollständig, an der Oberseite dagegen nur an den Rändern. Der Objectträger werde schief gehalten, so dass sich das Wasser an der unteren Kante der von den Schnitten besetzten Fläche ansammeln und mit dem Tuche weggenommen werden kann.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die mit Schnitten beschickte Fläche noch genügend von dem Wasser benetzt bleibt, um das jetzt

nothwendige Erwärmen des Objectträgers, bei dem die Schnitte selbstverständlich nicht austrocknen dürfen, zu vertragen. Diese nur leichte Erwärmung wird vorgenommen, indem man einige Male über einer schwachen, nicht russenden Flamme hin und her fährt. Alsdann gebe man ein der Grösse der beschickten Fläche entsprechendes Quantum von Glyceringelatine auf.

Letzteres darf weder zu klein noch zu gross sein. Im ersteren Falle entstehen beim Auflegen des Deckglases Luftblasen, die schwer wieder zu beseitigen sind. Im letzteren Falle wird die zwischen dem Deckglas und dem Objectträger befindliche Gelatineschicht eine zu dicke. Das Glas ist stark gehoben, sein Abstand von den Präparaten ein wenigstens für die Benutzung stärkerer Objectivsysteme zu bedeutender.

Durch nachträgliche nochmalige Erwärmung des Objectträgers und leichtes Aufdrücken des Deckglases lässt sich dieser Uebelstand allerdings beseitigen. Immerhin ist es besser, denselben von vornherein zu vermeiden. Bei einiger Uebung wird man in Bezug auf das aufzugebende Quantum Glyceringelatine bald das Richtige treffen.

Die auf diesem Wege hergestellten Präparate zeigen sich nicht sofort in ihrer vollen Eleganz. Die Gelatine und als wirksamer Bestandtheil besonders das darin befindliche Glycerin muss erst die Schnitte gleichmässig durchdringen, ein Vorgang, der, da die Masse schnell erkaltet und erstarrt, nur langsam und erst nach 6—10 Tagen beendet zu sein pflegt. Das schliesst nun keineswegs die sofortige mikroskopische Untersuchung aus. Dieser hat alsdann nur nach Ablauf der genannten Zeit eine Nachprüfung zu folgen.

Schneller werden die Präparate fertig, giebt man vor dem Auftropfen der Gelatine eine Spur von Glycerin zu. Da hierdurch aber eine stärkere als die beabsichtigte Aufhellung eintreten und unter Umständen auch die Wasseraufnahme der Schnitte unterbrochen werden kann, so möchte ich ein derartiges Verfahren nicht gerade empfehlen.

Die im Vorstehenden beschriebene Behandlung des Objectes wie der Schnitte macht auf den ersten Augenblick den Eindruck des Complicirten und Zeitraubenden. Thatsächlich ist beides nicht der Fall. Jeder, der erst einmal an die neue Arbeitsweise gewöhnt

ist, wird, wie dies auch aus dem speciellen Theil dieser Arbeit, zu dem jetzt übergegangen werden soll, hervorgeht, finden, dass der directe Arbeitsaufwand kaum wesentlich grösser als derjenige ist, welchen im Grossen und Ganzen auch die alte Präparationsmethode erfordert.

Das untersuchte Pflanzenmaterial.

I. Vegetationspunkte.

1. Vegetationspunkte des Stammes.

Strobilanthes Sabiniana Nees.

Längsschnitte. Schnittdicke 0,010 mm. Serie von 15 Schnitten. Nur die den Stammscheitel treffenden Schnitte wurden aufbewahrt.

Das Object war vollständig vom Paraffin durchdrungen. Es stellt mit diesem einen soliden Block dar, der mit Leichtigkeit Schnitte von der angegebenen Dicke — für vollständige Schnittserien ist das so ziemlich das Minimum des Erreichbaren — gestattet. Bei der Kleinzelligkeit des Gewebes des Vegetationspunktes sind derartig dünne Schnitte wünschenswerth.

Durch die Behandlung mit Alkohol waren die Zellinhalte gebräunt, das Object hatte eine nahezu schwarze Farbe. Das Studium der Anordnung der Zellen am Vegetationsscheitel wird hierdurch nicht gehindert. Die Zellwände treten scharf hervor, schärfer, als das unter Anwendung aufhellender Reagentien, die hier vollständig entbehrlich sind, der Fall zu sein pflegt.

Der Vegetationspunkt war ein ruhender. Die Pflanze (Warmhausexemplar) liess zu der betreffenden Jahreszeit (erste Wintermonate) keine auffallendere Wachsthumsthätigkeit wahrnehmen. Dementsprechend ist, etwa wie bei dem Sprossscheitel der noch im Samen befindlichen dicotylen Embryonen, die Scheitelfläche des Vegetationspunktes sehr klein. Die jüngsten, schon ziemlich entwickelten Blätter dominiren, sie erinnern in dieser Hinsicht an die Cotyledonen.

Von einer Schrumpfung der Gewebe oder von einer auch nur

unbedeutenden Contraction des Protoplasmas liess sich nichts bemerken. Tiefere Stellen des jungen Stammes, solche, bei denen die Gewebedifferenzirung bereits ziemlich weit vorgeschritten war, sind schlecht erhalten und nahezu vollständig zusammengefallen. Es wird später noch ausgeführt werden, wie sich derartige Schrumpfungen vermeiden lassen.

Heterotrichum macrodon Planch.

Vegetationspunkt längs. Schnittdicke 0,015 mm.

Bei der Kleinzelligkeit des embryonalen Gewebes wären noch dünnere Schnitte wünschenswerth gewesen. Indessen gestatteten auch Präparate von der angegebenen Schnittdicke ein genaues Studium der Anordnung der Zellen an dem ziemlich flachen Vegetationsscheitel.

Hinsichtlich älterer, in der Ausbildung begriffener Stammpartieen gilt das oben für Strobilanthes Gesagte.

Elodea canadensis Michx.

Vegetationspunkt längs. Serie von 56 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Das embryonale Gewebe befand sich in reger Theilungsthätigkeit. Seine Zellen waren verhältnissmässig gross, die angegebene Schnittdicke ist somit vollständig ausreichend.

In diesem Falle wurde die Stammknospe zu einer vollständigen Serie verarbeitet. Die ersten Schnitte hoben Kuppen von den deckenden äussersten Knospenblättern, die ferneren Längsschnitte von solchen ab. Es folgen Tangential- und Medianschnitte von älteren, dann von jüngeren und endlich von jüngsten Internodien der jungen Achse, und unter letzteren der Vegetationspunkt selbst. Dieser ist so schlank, dass aus seiner Mitte gewöhnlich nur ein Schnitt genommen werden kann.

Die folgenden Schnitte geben die beschriebenen Bilder in umgekehrter Folge.

Das eingeschmolzene Object war 6 mm lang. Es enthielt bereits zehn in der Anlage begriffene Internodien, die somit sammt den dazwischen liegenden Knoten längs durchschnitten wurden. Von

einer Schrumpfung der Gewebe war nichts zu bemerken. Ebensowenig zeigte sich irgend welche abnorme Färbung der Zellen. Deren Wände sowohl wie der Inhalt blieben vollständig intact. An dem Protoplasma haben — und das bestätigen auch die ferneren Beobachtungen — die verschiedenen Einbettungsoperationen augenscheinlich keine tiefergehenden Veränderungen hervorgerufen.

Der Scheitel des Vegetationspunktes ist von Zellen eingenommen, die von dichtem, sehr kleine Stäbchen und Körnchen führendem Plasma erfüllt sind. Die grossen, zum Theil in Theilung begriffenen Zellkerne — zur Hervorrufung deutlicher Bilder der Kernfiguren etc. bedarf es noch der entsprechenden Färbungen — treten scharf hervor. Von den vielen angeschnittenen Zellen hat keine ihren Inhalt verloren. Die Präparate unterscheiden sich auch hierin vortheilhaft von den mit freier Hand geschnittenen, bei denen in Folge der Behandlung und besonders der Auswaschungen die Zellinhalte grösstentheils herausgeschwemmt werden.

Tiefere Partieen des Vegetationspunktes lassen unter successiver Abnahme des dichteren Plasmas die Entstehung der Vacuolen auf's Schönste wahrnehmen. Mit der besonders an den Internodien eintretenden starken Zellvergrösserung werden die nicht zu dem Gefässbündel gehörigen Zellen wasserhell.

Das centrale Meristem, aus welchem das letztere entsteht, und ebenso ähnliche Stränge, die von hier horizontal nach Blättern und Seitensprossen führen, lassen sich von ihrer ersten Entstehung bis zur nahezu vollständigen Ausbildung mit Leichtigkeit verfolgen. Die Serie giebt in dieser Hinsicht die vollständige Entwickelung des jungen Pflanzenorgans.

Aehnliches gilt auch für die Blätter und die Seitensprosse, von welchen besonders die ersteren in den verschiedensten Entwickelungsstadien vertreten sind.

Berücksichtigt man alle diese Momente, so leuchtet es ein, dass die seither übliche Präparationsmethode mit der hier zu besprechenden keinen Vergleich aushält. Diese gewährt unbedingte Sicherheit des Schneidens. Der Pflanzentheil wird in lückenlos einander anschliessende, völlig gleichmässig dicke Scheiben zerlegt. Es gehen weder Inhaltsbestandtheile noch anhängende seitliche Bildungen verloren. Die Seitensprosse und besonders die zahlreichen Blätter

werden in ihrer ursprünglichen Lage genau fixirt. Alles das sind Vortheile, welche die alte Methode vollständig entbehrt.

Erwähnt sei noch, dass man die eingebettete Stammknospe dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock horizontal aufschmilzt. Ihre Längsachse soll parallel der Mittelschiene des Mikrotoms verlaufen und ihr Scheitel dem Schneidenden zugekehrt sein. Das Messer setzt alsdann nicht an der Spitze des Objectes, sondern an älteren Theilen, die härter und auch weniger wichtig sind, an; es werden an ersterer Stelle Quetschungen, unter Umständen auch das Einreissen vermieden, Schädigungen, die sonst, besonders bei nicht tadellos scharfem Messer, immerhin vorkommen können.

Elodea canadensis Michx.

Vegetationspunkt quer. Serie von 115 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Die womöglich noch instructivere und elegantere Serie ergänzt die vorstehend beschriebene auf's Vollständigste. Das embryonale Gewebe, der Bildungsheerd für den jungen Stamm, trat in allen Details ebenso klar und scharf hervor, wie auf den Längsschnitten.

In dem Maasse, als an dem Vegetationspunkt Blätter und Sprosse angelegt werden und erstarken, ändern sich die Umrisse der Mutterachse. Die erste Differenzirung in das internodiale Gewebe und die Knoten, die weitere Ausbildung beider, besonders diejenige des centralen Meristemstranges und endlich die Entwickelung der von diesem ausgehenden, nach Blatt und Sprossanlagen führenden Gefässstränge lassen sich auf's Eingehendste studiren. Es liegen in dieser Hinsicht die vollkommensten Bilder vor.

Die Stammknospe war vertical, mit dem Scheitel nach oben, dem Paraffinblock aufgeschmolzen. Das Messer hob zuerst Blattspitzen, dann Querschnitte durch die älteren und solche durch die jüngeren der in grosser Zahl hier vorhandenen Blätter ab. Erst als die jüngsten Blattanlagen an die Reihe kamen, der Scheitel des Vegetationspunktes sich somit in der Nähe befand, wurde mit dem Aufbewahren der Schnitte begonnen und der junge Spross auf eine

Strecke von ungefähr 2 mm in gleich dicke, an jeder Stelle vollkommen durchsichtige Scheiben zerlegt.

Ungeachtet der zahlreichen übereinander liegenden Blätter und der zwischen diesen, sowie an und über dem Scheitel der Stammknospe befindlichen Hohlräume war das Object vollständig von dem Paraffin durchdrungen. Es liess sich mit Leichtigkeit schneiden.

Chlorophytum Sternbergianum Steud.

Vegetationspunkt längs. Schnittdicke 0,015 mm.

Das Einbetten erfolgte nach der oben beschriebenen ersten, etwas umständlicheren Methode, bei der die zu schneidenden Pflanzentheile in eine lauwarm gesättigte Lösung von Paraffin in Chloroform gebracht wurden. Für die Folge sollen die auf diese Art behandelten Objecte mit einem Stern bezeichnet werden.

Die Aufschmelzung und Orientirung des Pflanzenstückes fand hier — und dasselbe gilt für sämmtliche noch zu beschreibende Stammvegetationspunkte — in der bei Elodea angegebenen Weise statt. Eine vollständige Serie wurde nicht geschnitten, mit dem Aufbewahren der Schnitte vielmehr erst begonnen, nachdem eine Anzahl von Blattlängsschnitten und Tangentialschnitten durch ältere Theile des Stämmchens abgehoben worden waren.

Die Zerlegung des Stammscheitels macht nicht die geringsten Schwierigkeiten. Man erhält tadellose und elegante Präparate, an denen sich schwierige Fragen über Zellanordnung und Gewebedifferenzirung mit Leichtigkeit entscheiden lassen. Aufhellende Reagentien sind ebenfalls unnöthig. Auch ohne solche treten an dem schlanken, sich in reger Theilungsthätigkeit befindlichen Vegetationspunkt die Zellen sammt Inhalt scharf und klar hervor.

Chlorophytum Sternbergianum Steud. *

Vegetationspunkt quer. Serie von 140 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Da an dem Scheitel des Vegetationspunktes ausser den Blättern auch zahlreiche Sprossanlagen vorhanden sind, die ihrerseits sehr bald ebenfalls Blätter und Sprosse höherer Ordnung entwickeln, so wurde zur Klarlegung dieser Verhältnisse eine voll-

ständige Serie geschnitten. Diese zeigt so recht frappant, was die Einbettungsmethode zu leisten vermag. Während bei Schnitten aus freier Hand so zahlreiche Einzelschnitte junger und jüngster Blätter und Achsen nur mit grösster Schwierigkeit längere Zeit in ihrer ursprünglichen Lage erhalten werden können, gelingt an dem eingeschmolzenen Material die genaue und dauernde Fixirung spielend. Dabei ist es hinsichtlich der Präparation vollständig, hinsichtlich des Schneidens nahezu gleichgültig, ob man ein oder mehrere Dutzend Schnitte herstellt.

Endlich liegt — und das macht sich bei der durch das Zuschneiden des das Object einschliessenden Paraffinstückchens gegebenen bestimmten Form der Schnitte und deren gleichmässigem Aneinanderreihen auf dem Objectträger fast von selbst — ein Schnitt genau wie der andere, ein Umstand, welcher das Studium der oft recht complicirten Verhältnisse bedeutend erleichtert.

Das Eingehen auf anatomische oder morphologische Details der Schnittserie würde bei der Fülle des Materials zu weit führen. Erwähnt sei hier nur, dass die in jeder Hinsicht tadellosen Bilder, an denen auch nicht die leiseste Spur von Schrumpfung oder einer Contraction des Plasmas wahrzunehmen ist, alle die einschlägigen Verhältnisse auf's Vollkommenste wiedergeben.

Gerade bei Querschnitten durch den Vegetationspunkt — und ebenso verhält es sich bei cylindrischen Pflanzentheilen überhaupt — ist die Orientirung zum Zwecke des Schneidens nicht besonders schwierig. Die Objecte sind hier gegenüber kleinen Abweichungen von der richtigen Lage, die natürlich die verticale sein muss, nicht so sehr empfindlich. Man schmelze das Paraffinstückchen, welches das Object enthält, dessenungeachtet möglichst genau senkrecht dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock auf und halte sich hierbei an die frühere Unterseite, dieselbe, welche am Boden des Glasgefässes erstarrte und demgemäss das Object genügend deutlich durchscheinen lässt. Zugleich werde die vorläufige Schnittfläche hergestellt, nach der man sich, ist die betreffende Seite durch Paraffin erst einmal verstärkt, bei der unter Benutzung der mechanischen Hülfsmittel des Objecthalters vorzunehmenden feinen Einstellung ausschliesslich zu richten hat.

Wie bei Elodea so waren auch hier sämmtliche Hohlräume der Stammknospe von Paraffin erfüllt.

Zebrina procumbens Schniz. *

Vegetationspunkt längs. Vollständige Serie von 33 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Die als Versuchsobject gewählte Pflanze besitzt bekanntlich sehr weiche und wasserreiche Gewebe. Dessenungeachtet werden dieselben, ohne dass auch nur Spuren von Schrumpfung eintreten, vollständig von dem Paraffin durchdrungen.

Die ersten Schnitte heben wieder die Kuppen von Blättern, die ferneren Längsschnitte von solchen, sowie Tangentialschnitte durch Stammtheile ab. Erst dann kommt der Vegetationspunkt, der im Verhältniss zu dem zunächst anschliessenden, bereits stark in die Dicke gewachsenen Internodium sehr klein und ausserdem sehr steil ist, letzteres allerdings nicht in dem Maasse wie bei Elodea. Es gelingt demgemäss, von dem Scheitel selbst noch drei die typische Zellanordnung ungefähr in gleicher Weise zeigende Medianschnitte zu erhalten, ein Resultat, welches beim Schneiden aus freier Hand unerreichbar ist.

Die Schnitte haben alle Vorzüge derjenigen der Vegetationspunkte von Elodea und Chlorophytum. Sie zeigen das in reger Theilungsthätigkeit befindliche Gewebe der Stammspitze, ohne dass irgend welche aufhellende Reagentien nothwendig sind, in voller Klarheit und Schärfe.

Wie bei allen derartigen Längsschnitten ist die Orientirung des Objectes eine im Vergleich mit Querschnitten bedeutend schwierigere. Die Längsachse des Pflanzentheils muss ganz genau parallel mit der planen Unterseite des Messers des Mikrotoms verlaufen. Andernfalls erhält man schräge, meist völlig unbrauchbare Schnitte.

Am besten verfährt man folgendermaassen:

Das aus dem erstarrten Paraffinkuchen ausgeschnittene, das Object einschliessende Paraffinstückchen wird mit der Oberseite dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock aufgeschmolzen. Die an dem flachen Boden der Glasschale erkaltete

Unterseite, dieselbe, welche aus bereits angeführten Gründen den Pflanzentheil am schärfsten durchscheinen lässt, ist somit dem Messer des Mikrotoms zugekehrt.

Die feine Einstellung am Objecthalter erfolge nun unter Berücksichtigung der planen Unterseite des Messers. Dasselbe wird hierbei langsam über die demnächstige Schnittfläche geführt, wobei man sich zu überzeugen hat, ob die Messerschneide überall in gleichen Abständen mit der Schnittfläche läuft. Erst wenn dies der Fall ist, wird Objecthalter und Object dicht unter das Messer geschoben und mit dem Schneiden begonnen.

Auch für die Folge prüfe man von Zeit zu Zeit Schnittfläche und Object mit der Lupe. Ebenso kann man die ersten der abgehobenen Schnitte — dieselben brauchen ja meist nicht aufbewahrt zu werden, da man gegen das Ende der Serie wieder dieselben Bilder erhält — direct unter dem Mikroskop auf die Genauigkeit der Schnittrichtung controlliren.

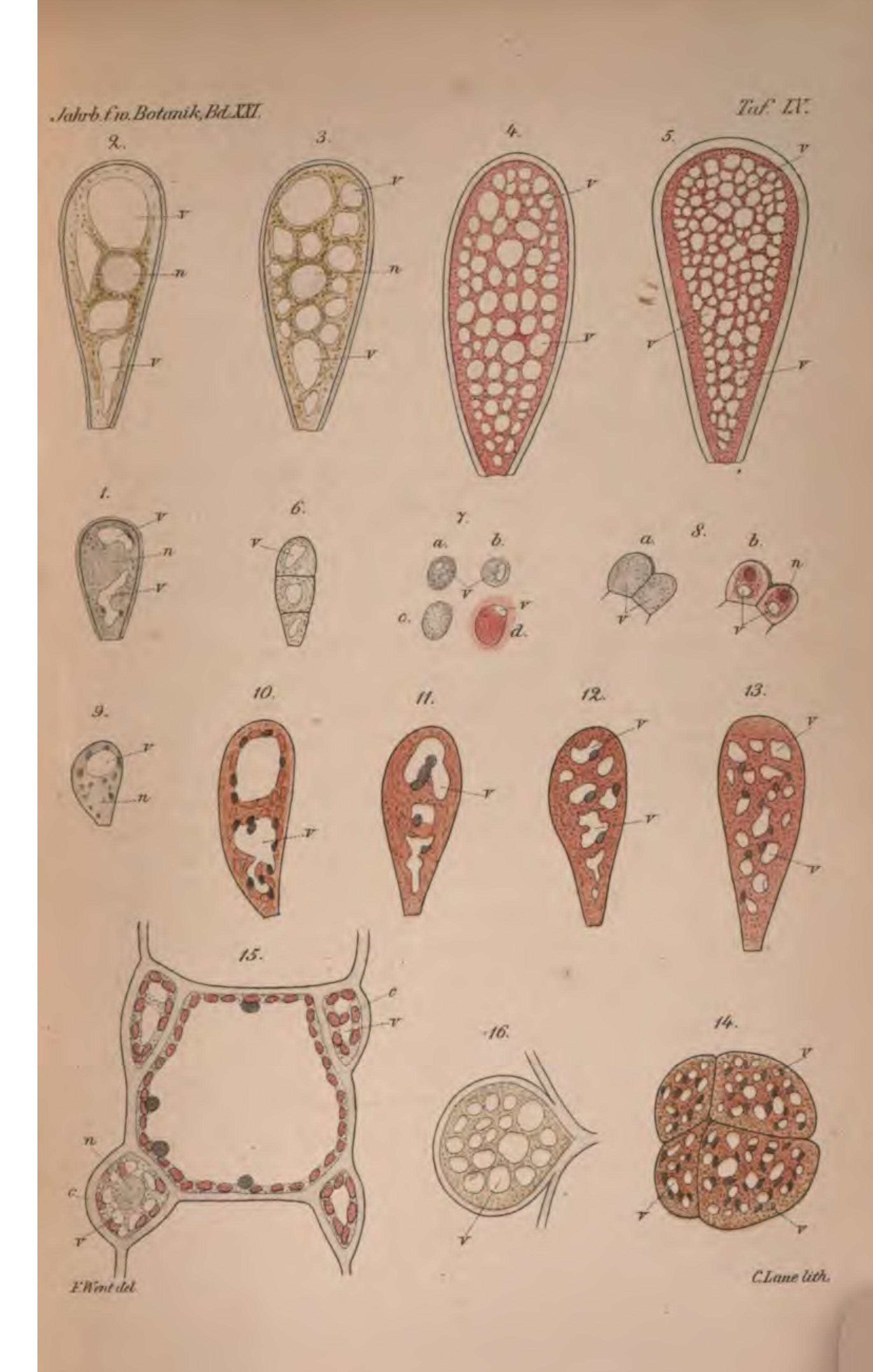
In den meisten Fällen reicht die Prüfung mit der Lupe aus. Bei längerer Uebung lassen sich sogar mit unbewaffnetem Auge die Verhältnisse ziemlich genau beurtheilen.

Letztere Fähigkeit ist besonders bei Abnormitäten des eingeschlossenen Objectes von Werth. Beispielsweise kann es vorkommen, dass der die Stammachse abschliessende Vegetationspunkt dieser nicht wie gewöhnlich gerade, sondern etwas schräg aufsitzt. Das wird in Folge der Umhüllung des Scheitels seitens der Blätter erst während des Schneidens bemerkbar. Es gehört nun schon zu den schwierigeren Aufgaben, deren Lösung erst demjenigen gelingt, der sich mit seinem Instrument vertraut gemacht und bereits die nöthige Uebung erlangt hat, derartige angeschnittene Objecte neu und richtig zu orientiren und so zu behandeln, dass keiner der Schnitte, auf die es ankommt, verloren geht.

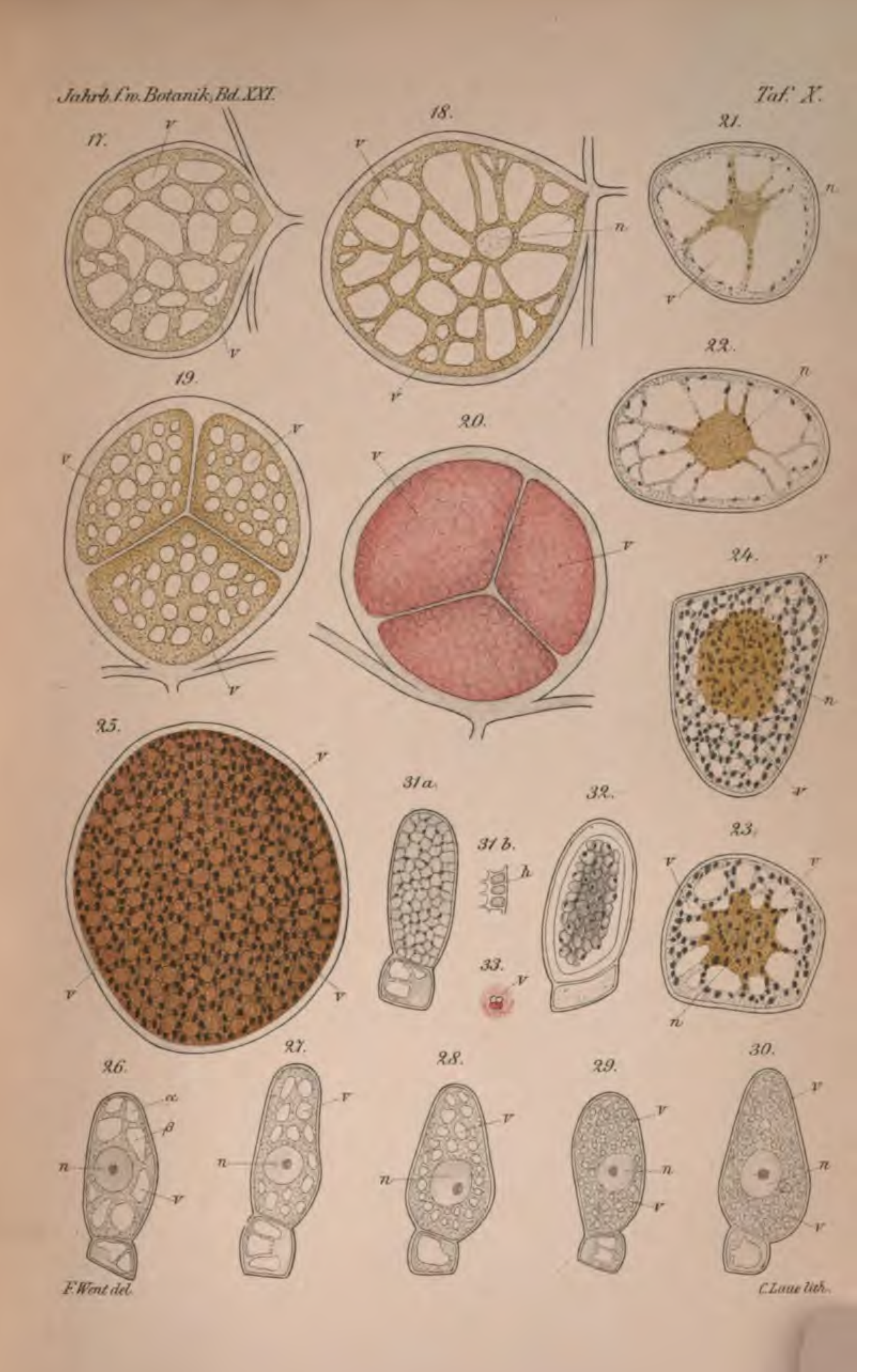
Zebrina procumbens Schniz.*

Vegetationspunkt quer. Vollständige Serie von 70 Schnitten. Schnittdicke 0,020 mm.

Die Serie endigt mit älteren, im Zellstreckungsstadium befindlichen Partieen der jungen Achse. Die zum Theil grösseren, im

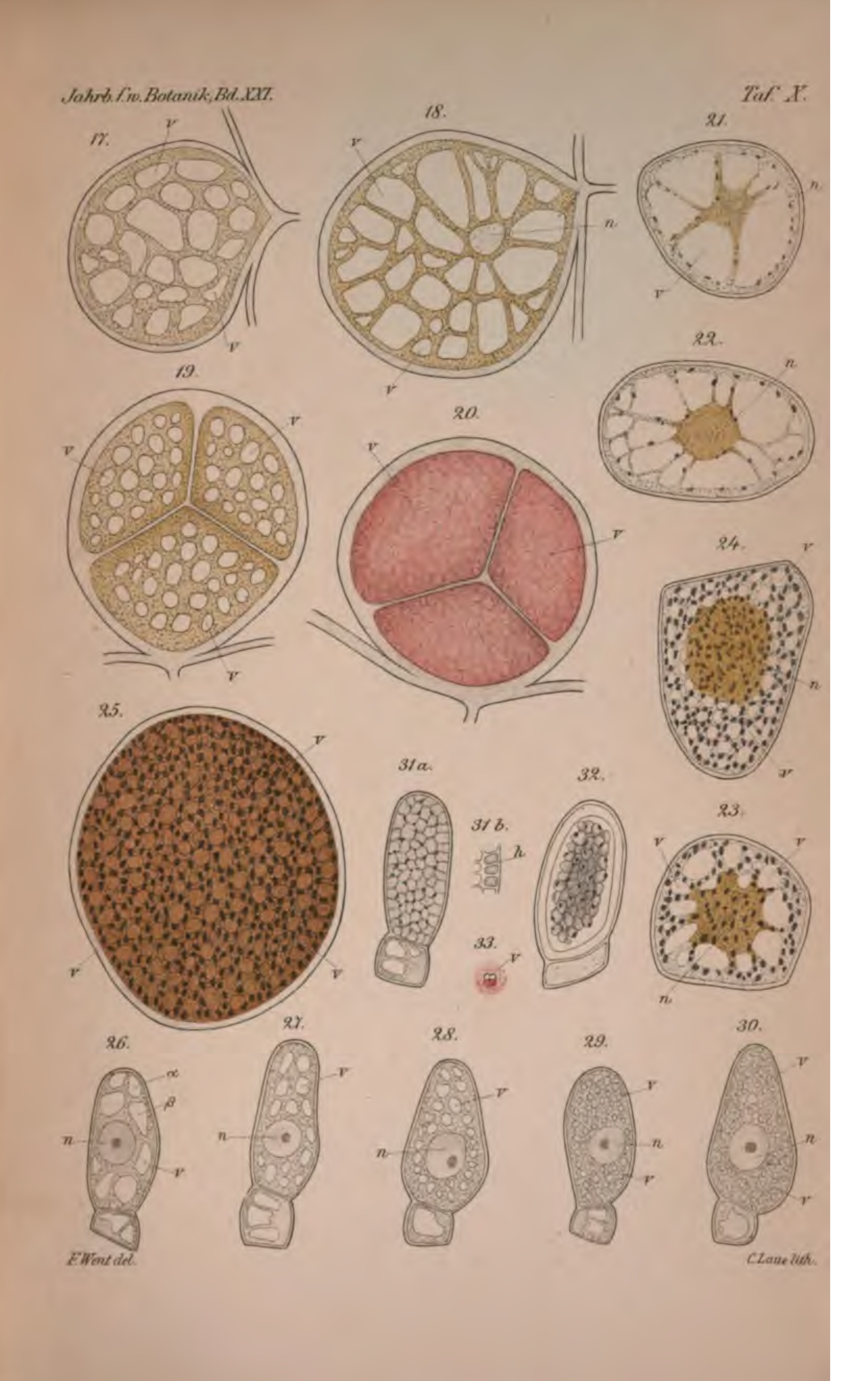

2.
3.
4.
5.
1.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
15.
16.
14.
F. Went del.
C. Laue lith.

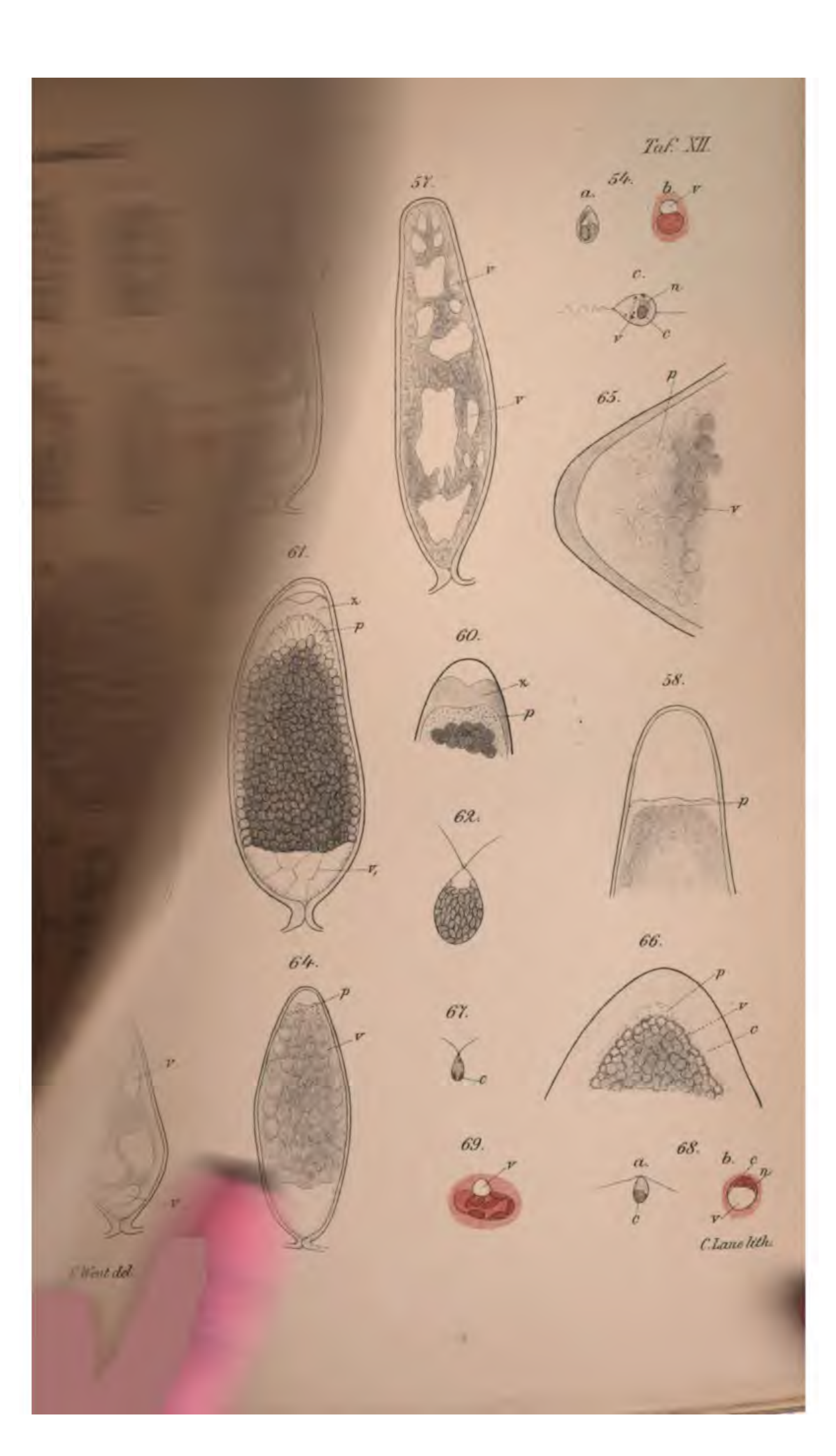




Jahrb. f. w. Botanik, Bd. XXI.
Taf. X.
17.
18.
19.
20.
21.
22.
23.
24.
25.
26.
27.
28.
29.
30.
31 a.
31 b.
32.
33.
F. Went del.
C. Laue lith.

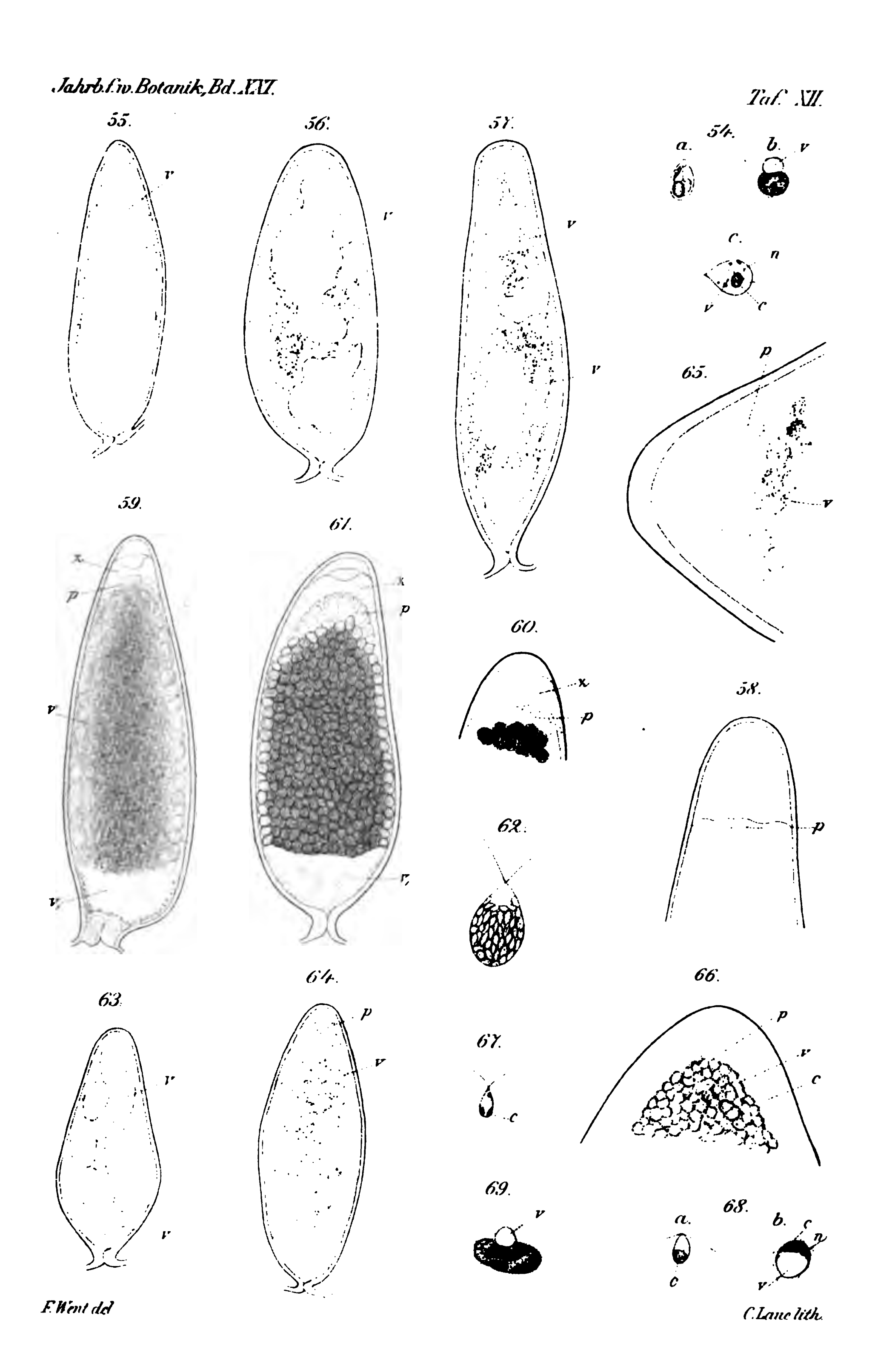



17.
18.
21.
22.
19.
20.
24.
25.
31 a.
31 b.
32.
23.
33.
26.
27.
28.
29.
30.
F. Went del.
C. Laue lith.

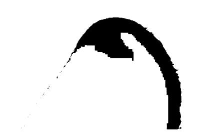


Taf. XII.
57.
54.
a.
b.
v
c.
n
v
c
v
v
65.
p
v
61.
x
p
v,
60.
x
p
58.
p
62.
66.
p
v
c
64.
p
v
67.
c
v
v
69.
v
68.
a.
b.
c
n
c
v
C.Lane lith.



F. Went del.   C. Laue lith.



Grundgewebe meist leidlich kreisförmig angeordneten Gefässbündel haben hier schon so ziemlich ihre definitive Ausbildung erhalten.

Die sich anschliessenden höheren Schnitte zeigen die Procambiumstränge im Uebergang in die genannten Bündel. Die kreisförmig gestellten Stränge treten, wie die nächst höheren Schnitte lehren, in die den Stammtheil völlig umschliessende Blattbasis des ältesten der hier zum Vorschein kommenden Blätter der Knospe ein.

Waren bis jetzt die Zellen des hier in Betracht kommenden Grundgewebes gross und wasserhell, so dass die betreffenden Schnitte recht wohl eine bedeutendere Dicke, etwa diejenige von 0,025 bis 0,030 mm, vertragen hätten, so ändert sich das jetzt. Das kleinzelligere, nach und nach von dichterem Plasma erfüllte Gewebe erfordert die oben angegebene Schnittdicke. Die Schnitte eignen sich jetzt zum Studium der Entstehung der procambialen Stränge vortrefflich.

Die successiv an Umfang abnehmende junge Achse wird zunächst von der Basis zweier, dann von derjenigen dreier Blätter eingehüllt. Bald tritt ein viertes Blatt, das zum ersten Male die Achse nicht vollständig umfasst, sondern an einer Seite geöffnet ist, hinzu. Wir sind, wie dies das typische embryonale Gewebe der Stammquerschnitte und das dichte, mit grossen Zellkernen versehene Protoplasma lehren, nahe dem Scheitel des Vegetationspunktes angelangt.

Diesen treffen wir dann auch an einem der nächsten Schnitte. Ihm liegt die jüngste Blattanlage in Gestalt einer halbmondförmigen Sichel dicht an. Die ferneren Schnitte gehen ausschliesslich durch die Blätter der Stammknospe. Von diesen sind auch die ältesten jetzt an einer Seite geöffnet und hier mehr oder minder stark eingerollt.

Die Schnitte erweisen sich als ebenso ausgezeichnet wie die Längsschnitte. An den tadellosen anatomischen Bildern ist auch nicht die Spur einer Schrumpfung zu entdecken.

Selaginella denticulata Lk.

Vegetationspunkt längs. Schnittdicke 0,015 mm.

Eine vollständige Serie wurde nicht geschnitten, vielmehr

nur auf diejenigen Schnitte Werth gelegt, welche die Scheitelzelle zeigen.

Bei der eigenartigen Verzweigung der Sprosse empfiehlt es sich, die Endstücke von solchen so zu orientiren, dass das Messer parallel mit der Fläche läuft, in der die Auszweigung erfolgt. Man schneidet dann mehrere Vegetationspunkte zu gleicher Zeit und hat, da nicht selten einige derselben kleine Wachsthumsabweichungen wahrnehmen lassen, wenigstens Aussicht, einen von ihnen median zu treffen.

In dem vorliegenden Falle wurde der schlanke, mit vielen Blattanlagen versehene Vegetationspunkt in eine Anzahl Scheiben zerlegt. An deren mittlerer treten die Scheitelzelle sowie deren Segmente in voller Schärfe hervor. Aufhellende Reagentien waren ebensowenig nothwendig, wie bei den andern oben beschriebenen Vegetationspunkten. Die Eleganz des anatomischen Bildes erwies sich als eine ebenso grosse.

2. Vegetationspunkte von Wurzeln.

Hyacinthus orientalis L. *

Wurzelspitze längs. Serie von 37 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object besass eine Länge von 5 mm.

Wie bei der Stammknospe, so wird auch hier das Object mit der Oberseite dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock aufgeschmolzen. Die Unterseite, dieselbe, welche auf dem Boden der Paraffin und Object enthaltenden Glasschale erstarrte, ist parallel zu der Messerfläche und zwar so einzustellen, dass einerseits die Längsachse der Wurzel mit der Mittelschiene des Mikrotoms parallel läuft, andrerseits die Wurzelspitze sich dem Schneidenden zukehrt. Das Messer setzt somit an älteren Theilen der Wurzel an.

Wurzeln, deren Spitze, wie das häufig vorkommt, gekrümmt ist, werden am besten ganz von der Untersuchung ausgeschlossen. Zeigt sich — und man hat hierauf die Schnittfläche von Zeit zu Zeit zu prüfen — die Krümmung erst im letzten Augenblicke, also während des Schneidens, so muss das Object neu orientirt werden. Man lässt dann ältere Wurzeltheile ganz ausser Acht und berücksichtigt als den interessanteren Theil ausschliesslich die Wurzelspitze.

In unserem Falle besassen die Pflanzen — es waren Wasserculturen — sehr starke und fast nur gerade gewachsene Wurzeln. Schwierigkeiten in dieser Hinsicht lagen somit nicht vor.

Bei genauer Orientirung müssen die ersten Schnitte tangentiale sein, es wird von ihnen die konische Wurzelspitze noch nicht getroffen. In dem Maasse, als man sich dem centralen Procambiumstrang nähert, greifen die Schnitte auch in die Wurzelspitze ein. Sie heben zunächst eine zur Wurzelhaube gehörige Kuppe und dann tiefere Gewebelagen ab. Endlich gelangt man auch an den Wurzelscheitel und erhält Präparate, welche als ein Muster von Eleganz bezeichnet werden müssen. Sie sind vollständig geeignet, auch den hartnäckigsten Anhänger der alten Präparationsmethode von der unbedingten Zweckmässigkeit der Einbettung und der Benutzung des Mikrotoms zu überzeugen.

Die Wurzelhaube lässt sich an derartigen Schnitten sowohl an ihrem Scheitel, als auch an ihren in das embryonale Gewebe des Vegetationspunktes übergehenden, rückwärts liegenden Theilen scharf und klar übersehen. Dort finden wir die sich ablösenden oder bereits abgelösten, in ihrer ursprünglichen Lage genau fixirten, äussersten Zellen, deren Inhalt meist verbraucht und wasserhell ist. Hier überblicken wir das kleinzellige embryonale Gewebe, dessen Zellen mit dichtem Plasma und grossen Kernen erfüllt sind. Das zwischen beiden Theilen befindliche grosszelligere Gewebe von festerem Gefüge führt dünnflüssiges theils wandständiges, theils solches Plasma, an dem die Vacuolenbildung eben aufgetreten ist. Der Protoplasmakörper scheint auch hier in dem Zustand zu bleiben, in dem er sich bei seiner Tödtung durch Alkohol befand.

Das Gleiche gilt von dem Inhalt der Zellen des Periblems und Pleroms. Die Initialen beider Gewebe waren in lebhafter Theilung begriffen. Ohne dass aufhellende Reagentien nöthig wären, können hier wie an den unterstellten Zellformen die charakteristischen Mantellagen und die centrale Strangschicht auf's Deutlichste wahrgenommen werden.

An tieferen Theilen der Wurzel wird, und das betrifft besonders das junge Rindengewebe, der Zellinhalt nach und nach wieder wasserhell. Einzelne Zellreihen enthalten hier, schön regelmässig angeordnet, Raphidenbündel.

In dem centralen Procambiumstrang sind noch keine Gefässe ausgebildet.

Hyacinthus orientalis L.

Wurzelspitze quer. Die Wurzeln stammen von Wasserculturen. Serie von 90 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Aus der 6 mm langen Wurzelspitze wurden in Abständen von 0,05 mm die Schnitte genommen.

Die ersten 3 mm des Wurzelscheitels liefern vorzügliche Präparate. Die das lose Zellgefüge zeigende Kuppe der Wurzelhaube, dann deren festere Mittelpartie und endlich die Meristemschicht treten klar und scharf hervor. Dasselbe ist der Fall hinsichtlich der Initialschichten der Wurzel selbst. An dem unterstellten Gewebe dagegen machen sich Schrumpfungen bemerkbar. Diese betreffen ausschliesslich das junge Rindengewebe. Sie treten an ihm streifenweise und zwar so hervor, dass Längsstreifen von zusammengefallenem Gewebe mit solchen abwechselten, deren Zellen noch vollständig intact sind.

Dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock wurde die Wurzel vertical aufgeschmolzen. Es ist dabei gleichgiltig, ob man die Spitze nach oben oder nach unten richtet.

Zea Mays L.

Wurzelspitze quer. Wassercultur. Alkoholmaterial[1]). Vollständige Serie von 120 Schnitten. Schnittdicke 0,010 mm.

Die in Vorstehendem angedeuteten anatomischen Verhältnisse sind auch hier und zwar an durchgängig vorzüglichen Präparaten zu studiren. Es ist bemerkenswerth, dass in diesem Falle die junge Rinde vollständig intact blieb, ungeachtet der ausserordentlichen Zartheit ihrer Zellwände und des grossen Wassergehalts ihrer Zellen.

---

1) Diese Bezeichnung diene für die Folge in allen den Fällen, in denen das zur Untersuchung kommende Material nicht frisch eingelegt, sondern der für das Praktikum des botanischen Instituts bestimmten Sammlung entnommen wurde.

Das Object war fast zu dünn geschnitten. Es bedurfte bei der ganz ausserordentlichen Durchsichtigkeit der Präparate schon sehr starker Systeme, um das anatomische Bild in allen Details scharf und klar hervortreten zu lassen. Bei dieser Gelegenheit ergab sich, dass ein reichlich vorhandenes Pilzmycel die sonst keine Spur von Erkrankung zeigenden zarten Gewebe der Wurzel nach allen Richtungen hin durchsetzte. Ganz besonders war die Wurzel gegen die Spitze hin ergriffen. Ob hier ein symbiotisches Verhältniss vorliegt, das bei der Cultur der Pflanzen in Wasser auffällig wäre, müssen eingehendere Untersuchungen, für die sich gerade die Einbettung in Paraffin empfiehlt, lehren.

Ebensowenig wie das Wurzelgewebe war das Pilzmycel geschrumpft. Dasselbe tritt bei seinem eigenartigen Wachsthum auf den Präparaten bald längs, bald quer und bald schräg durchschnitten hervor.

Alle die oben beschriebenen Objecte waren vorzüglich vom Paraffin durchdrungen, sie liessen sich bei ihrer Weichheit ganz ausgezeichnet schneiden.

Es kommt hier überhaupt nicht vor, dass Schnitte während des Schneidens aus dem Paraffin ausreissen.

Sind die von dem Objecte abgenommenen Schnitte dünn und sehr lang, so zeigen sie bei dem Entrollen auf dem Objectträger nicht selten Neigung zum Faltenschlagen. Das ist besonders dann der Fall, wenn bei den mit dem scharf zugeschnittenen Ende aufgesetzten, hier zunächst anklebenden Schnitten die seitlichen Paraffinränder in Folge zu dichten Aneinandersetzens übergreifen. Bei dem Anwärmen hindern sich dann die Schnitte gegenseitig am gleichmässigen Auflegen. Zu dichtes Aneinandersetzen ist somit zu vermeiden.

Die Stellung des Messers des Mikrotoms erfolge, wie bei allen sehr weichen Objecten, „quer“, also senkrecht zur Mittelschiene des Instrumentes.

II. Stammtheile.

1. Weiche Stammtheile.

Cyclamen europaeum L. *

Blüthenstiel quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, **0,015**, **0,010**, 0,005 mm[1]).

Das Object schneidet sich gut. Bei der Herstellung dicker Schnitte kommt es vor, dass das nicht mehr ganz dünnwandige Rindenparenchym an einzelnen Stellen von den Gefässbündeln abreisst. Die dünnen Schnitte dagegen geben tadellose Präparate, an denen besonders die durch Weichbastlagen zu einem Ring verbundenen, der mechanischen Zellen entbehrenden Gefässbündel in allen Einzelheiten ebenso instructiv wie elegant hervortreten.

Schrumpfungen hatten an keinem der betreffenden Gewebe stattgefunden. Eingebettet wurden Stammstückchen von 5 mm Länge, die das Paraffin mit Leichtigkeit durchdrang.

Begonia Rex Putz. var. *

Stamm quer. Schnittdicke **0,030**, **0,025**, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Das Object schneidet sich ausgezeichnet. Es tritt hier der bei weichen grosszelligen und wasserreichen Objecten häufige Fall ein, dass die dicken Schnitte als die schönsten bezeichnet werden müssen. Die dünnen Schnitte sind zwar in Bezug auf die zartgebauten Gefässbündel vorzüglich, das parenchymatische Grundgewebe, zum Theil auch das Collenchym wird dagegen leicht zerrissen oder gezerrt, ja es fallen nicht selten ganze Stücke dieser Gewebe aus.

Die dickeren Schnitte genügen übrigens auch in Bezug auf die Gefässbündel vollständig.

Das Object gehört zu denjenigen, die sehr leicht schrumpfen. Die parenchymatischen Gewebe aller nach dem einfacheren Ver-

---

1) Die durch den Druck hervorgehobenen Zahlen bezeichnen hier wie für die Folge die für das betreffende Präparat besonders geeignete Schnittdicke.

fahren eingebetteten Stammstücke waren mehr oder minder stark zusammengefallen. Erst durch die Benutzung der lauwarm gesättigten Lösung von Paraffin in Chloroform liess sich das vermeiden. An dem so behandelten, oben beschriebenen Object war nur eine leichte Contraction des Plasmas der Zellen des Markes und der Rinde, die nicht weiter stört, vorhanden.

Hippuris vulgaris L. *

Alkoholmaterial. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm. Das ziemlich nahe dem Stammscheitel genommene, 5 mm lange Stammstück wurde quer geschnitten. Dasselbe schneidet sich recht gut.

Die Pflanze wurde gewählt um zu prüfen, ob das Paraffin leicht in die bekanntlich sehr grossen intercellularen Räume des Rindenparenchyms eindringt, ferner ob dieses maschenartige, lose gefügte Gewebe straff erhalten bleibt. Beides ist in der That der Fall.

Die äusserst eleganten Schnitte zeigen das Parenchym wie in frischem Zustande. Höchstens ist eine leichte Contraction des Protoplasmas zu bemerken, die wahrscheinlich von dem Einlegen in Alkohol — die Pflanze wird wohl sofort in ziemlich starken Spiritus gebracht worden sein — herrührt.

Als besonders instructiv sind die das centrale Gefässbündel betreffenden Theile der Schnitte zu erwähnen.

Zebrina procumbens Schniz. *

Stamm quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015 mm.

Das aus älteren Stammpartieen genommene, 5 mm lange Stückchen war noch von grosser Weichheit. Es wurde sehr gut vom Paraffin durchdrungen und schnitt sich vortrefflich.

Auch hier sind die dickeren Schnitte vorzuziehen. Während an den dünnen Schnitten die zarten, äusserst einfach gebauten Gefässbündel leicht verletzt werden — das Messer reisst die wenigen vorhandenen Gefässe leicht in den anstossenden grösseren intercellularen Raum hinein — ist das bei den dickeren nicht der Fall. Ausserdem genügen diese bei der Grosszelligkeit der Gewebe allen Anforderungen. Die anatomischen Details treten klar und schön

hervor. Als kleiner, die Güte der Bilder nicht wesentlich beeinflussender Fehler käme höchstens der leicht wellige Verlauf einzelner Membranen des centralen parenchymatischen Grundgewebes in Betracht, der indessen so gering ist, dass er nicht als Schrumpfung bezeichnet werden kann. Peripherische Theile des genannten Gewebes sind vollständig intact.

Hyacinthus orientalis L. *

Alter Blüthenschaft quer. Schnittdicke 0,025, 0,020, 0,015 mm.

Die Schnittfläche war hier eine beträchtlich grössere, als bei den seitherigen Objecten. Sie betrug etwa 1 qcm. Dessenungeachtet macht, und es ist das in der Weichheit der Gewebe begründet, die Herstellung vollständiger, überall gleich dicker Schnitte nicht die geringste Schwierigkeit. Das Object muss als Muster eines leicht zu schneidenden Pflanzentheils bezeichnet werden.

Das quantitativ so überwiegende dünnwandige, ein loses Gefüge zeigende Grundgewebe bleibt vollständig intact. Nur an der geräumigen centralen Markhöhle finden wir von deren Entstehung herrührende Zellüberreste. Das anatomische Gesammtbild ist ein sehr schönes. Es treten besonders die der mechanischen Elemente entbehrenden, peripherisch gestellten Gefässbündel auf's Vorzüglichste hervor.

Hyacinthus orientalis L. *

Stiel einer Einzelblüthe quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Die Schnitte sind von gleicher Eleganz wie die vorstehend beschriebenen und ebenso leicht herzustellen. Sehr schön giebt sich der stark entwickelte Weichbast der annähernd kreisförmig gestellten Gefässbündel.

Impatiens Balsamina L.

Stamm quer. Schnittdicke 0,015 mm. Serie von 48 Schnitten.

Die Schnitte wurden zum Zweck des eingehenderen Studiums des Cuscutahaustoriums hergestellt.

Das grosszellige, sehr wasserreiche Grundgewebe des schon

älteren Stammstückchens zeigt keine Schrumpfung. Das Plasma dagegen ist an einzelnen Stellen schwach contrahirt.

In dem genannten Gewebe sowohl wie in den zarten Gefässbündeln war die Ausbreitung haustorialer Fäden und ihr Anschluss an bestimmte Gewebeelemente des Wirthes ebenso leicht als instructiv zu verfolgen. Die Serie gab in dieser Hinsicht geradezu klassische Bilder ab, welche die Vorzüge der Einbettung schlagend beweisen. Auch nur im entferntesten ähnliche Schnitte sind bei dem Schneiden aus freier Hand nicht zu erhalten. Auf letzterem Wege lassen sich ferner keine vollständigen Schnittserien herstellen, die allein ein ausgiebiges Studium des gesammten, von Parasiten durchsetzten Pflanzentheiles ermöglichen.

Impatiens Balsamina L.

Längsschnitte durch den Stamm. Serie von 46 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm.

Das präparirte Stammstück besass eine Dicke von 4 und eine Länge von 12 Millimetern. Wie bei dem Blüthenschaft der Hyacinthe war somit die Grösse der Schnittfläche eine recht bedeutende. Indessen machte auch hier die Herstellung vollständiger und gleichmässig dicker Schnitte keine Schwierigkeiten. Das Object liefert Präparate, die hinsichtlich ihrer Güte den Querschnitten nicht nachstehen und diese auf's Beste ergänzen. Auf die anatomischen Details hier einzugehen würde zu weit führen.

Schnitte unter 0,015 mm Dicke sind, da grössere Stücke des parenchymatischen Grundgewebes dann leicht reissen oder ausfallen, nicht zweckmässig, sie können höchstens zum Studium der das Gefässbündel betreffenden Einzelheiten dienen.

Das Object wurde horizontal und zwar parallel zur Mittelschiene des Mikrotoms orientirt. Will man die Gefässbündel und speciell einzelne von deren Gefässen auf längere Strecken scharf median erhalten, so muss diese Orientirung mit grosser Genauigkeit vorgenommen werden. Andernfalls giebt der Schnitt nur kleine, mehr oder minder schräge Gefässstücke.

Bei kleinen Ungenauigkeiten des Gefässbündelverlaufs kommt Aehnliches auch bei der genauesten Einstellung vor. Es bleibt dann

system und ein quantitativ ziemlich beträchtliches Mark treten gut und bei den dickeren Schnitten auch zusammenhängend hervor. An Präparaten von 0,010 und 0,005 mm fallen parenchymatische Gewebe zum Theil aus. Das Gefässbündelsystem dagegen bleibt intact und eignet sich bei seiner Durchsichtigkeit ganz besonders zu einem eingehenderen Studium.

Erwähnt seien noch die aus vielen Zellen zusammengesetzten starken Haare, von denen man allerdings, da sie nicht scharf horizontal an dem Stamm stehen, fast nur Bruchstücke erhält. Immerhin lehren solche wenigstens, dass auch hier eine Schrumpfung nicht eingetreten ist.

Zu dem Schneiden sind tadellos scharfe Messer erforderlich. Andernfalls zerknittern die Schnitte leicht. Dasselbe gilt auch von dem zunächst zu betrachtenden Object.

Strobilanthes Sabiniana Nees.

Stammstücke von 3 mm Durchmesser quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm. Das Object ist etwas fester wie Heterotrichum.

Die dünnen Schnitte geben sehr gute Präparate eines typisch dicotylen Stammes. Das Collenchym, die dünnwandige parenchymatische Rinde, ein zum Ring zusammenschliessendes Gefässbündelsystem aus starken Weichbastlagen, Cambium und seitlich durch Holzzellen verbundene Gefässgruppen, endlich das ebenfalls dünnwandige Mark, alle diese Gewebe können sich in ihren Einzelheiten dem Beschauer nicht besser zeigen.

Dabei ist zu bemerken, dass die grossen Festigkeitsunterschiede der einander anstossenden Gewebe keineswegs zu Zerreissungen führen. Beispielsweise blieben die zarten cambialen Zellen mit ihren festen, bereits verholzten Theilungsproducten vollständig in Zusammenhang.

Ein vorsichtiges Einlegen, dasjenige in die lauwarm gesättigte Lösung von Paraffin in Chloroform, ist auch hier unbedingt erforderlich. Alle nach der einfacheren Methode eingebetteten Stammstücke schrumpfen bis zur Unkenntlichkeit.

Das Messer wird hier, wie in allen den Fällen, in denen es

weniger durch typische mechanische Zellformen, als vielmehr durch Parenchymzellen, diejenigen des Grundgewebes, bedingt, welche bereits stärkere Wände besitzen und durch ihre grosse Zahl hier in Betracht kommen.

Die Präparate erwiesen sich als äusserst elegante. Ganz besonders gilt das für die zerstreut im Grundgewebe befindlichen Gefässbündel.

Schrumpfungen zeigten sich hier nicht. Wohl aber waren solche an Präparaten vorhanden, welche von stärkeren Stammtheilen, solchen von 4 mm Durchmesser, angefertigt wurden.

Derartige Objecte fanden nun eine vorsichtigere Behandlung. Sie wurden unter Benutzung der lauwarm gesättigten Lösung von Paraffin in Chloroform eingebettet, und zwar mit günstigem Erfolg. An Schnitten, die der Mittelpartie des 5 mm langen Stammstückchens entnommen waren, zeigte sich zwar noch an dem Parenchym ein Anflug von Schrumpfung, völlig frei von einer solchen waren dagegen die in der Nähe der beiden Enden des Objectes geschnittenen Präparate. Es scheint, dass das Paraffin nur schwer durch die cuticularisirten und stark verdickten Aussenwandungen der Epidermis geht und vorzugsweise von den beiden Schnittflächen des Objectes aus eindringt.

An dieser Stelle besassen die Zellmembranen eine leichte Bräunung, die indessen — ebenso wie die leichte Schrumpfung der Präparate der Mittelpartie des Stammstückchens — nach längerem Liegen in Glyceringelatine wieder verging.

Heterotrichum macrodon Planch. *

Stammstücke von 3 mm Durchmesser quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, **0,020**, **0,015**, 0,010, 0,005 mm.

Die Stammtheile sind ziemlich ebenso hart, wie diejenigen von Peperomia. Sie zeigen grosse Neigung zum Schrumpfen, und es bedarf, will man mit Sicherheit auf gute Präparate rechnen, der Behandlung mit der mehrfach erwähnten Lösung von Paraffin in Chloroform.

Diese bewährte sich auch hier vollständig. Das Collenchym, eine ziemlich feste Rinde, ein zum Ring geschlossenes Gefässbündel-

schwer auszutreiben ist. In Folge dessen dringt das Paraffin nicht oder nur unvollkommen ein, wie sich das schon an dem Aussehen der Schnittfläche erkennen lässt. Bei vollständiger Durchdringung eines Objectes muss dasselbe hier wie polirt aussehen. Enthält es Luft, so erscheint die Schnittfläche matt. Die dieses Aussehen bedingenden kleinen Luftbläschen sind nicht selten als solche mit der Lupe zu erkennen.

Ausserdem hört man bei dem Schneiden ein durch die trockenen, verholzten Zellen hervorgerufenes, eigenartig knirschendes Geräusch, sobald das Messer durch die betreffenden Gewebe geht.

Bei den uns beschäftigenden Schnitten hatte die unvollkommene Durchdringung des Objectes wenig zu sagen. Die mechanischen Zellen waren fest genug, um nicht zusammenzufallen und nicht spröde genug, um auszureissen. Die in ihnen enthaltene Luft liess sich leicht nachträglich durch Alkohol, der ja ohnehin bei der ferneren Behandlung der Schnitte angewandt werden muss, entfernen.

In Fällen, in denen es wünschenswerth ist, die Luft schon früher, vor dem Schneiden auszutreiben, verwendet man am besten ausgekochtes Wasser. In solches bringt man die aus Alkohol genommenen Pflanzentheile und verkorkt das Gefäss so, dass zwischen Kork und Wasser keine Luftschicht vorhanden ist. Nach längerem Verweilen des Objectes in dieser Flüssigkeit, unter Umständen nach Wiederholung der Operation, hat das Wasser die Luft ziemlich vollständig aus dem Gewebe genommen.

III. Wurzeln.

Scorzonera hispanica L. *

Alkoholmaterial. Wurzel von einem Durchmesser von 1 cm. Schnittdicke 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Das an sich nicht gerade feste Gewebe wurde durch die Durchtränkung mit Paraffin ziemlich hart. In Folge dessen machte das Schneiden Schwierigkeiten. Objecthalter und Messerschlitten des Mikrotoms functioniren nicht in der richtigen Weise, bald hebt sich der eine, bald der andere aus seiner Bahn.

Derartige Schwierigkeiten lassen sich umgehen, wenn man das Object längs halbirt und die dabei entstehende Schnittfläche — sie enthält zugleich den Durchmesser der Wurzel — parallel zu der Mittelschiene des Mikrotoms richtet. Das zu dieser etwas schräg zu stellende Messer setzt an dem einen spitzen Ende des Objectes an und schneidet jetzt bei so verkleinerter Schnittfläche dasselbe ziemlich leicht.

Unter Benutzung des grossen Modells des Mikrotoms und der dazu gehörigen grossen Messer würde sich wohl das Gesammtobject haben schneiden lassen.

Nothwendig sind die vollständigen Schnitte keineswegs. Die Querschnitthälfte ist zur Kenntniss der anatomischen Details, die auch hier äusserst klar hervortreten, durchaus hinreichend.

Central finden wir mit altem zerfallenen Parenchym abwechselnde Gefässstrahlen. Ersteres wird nach dem Cambium hin, das vorzüglich erhalten ist, zum intacten Gewebe. Ebenso gut sind die den Weichbastbeleg und vor allem die die Milchsaftgefässe zeigenden Theile des Schnittes. Die Rinde wird von einer zerfetzten Korkschicht gedeckt, deren abstehende Fetzen genau ihre ursprüngliche Lage behalten.

Sonchus uliginosus Bieb. *

Alkoholmaterial. Wurzel quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Das ungefähr dieselben Festigkeitsverhältnisse aufweisende Object schneidet sich bei verhältnissmässig kleiner Schnittfläche — der Durchmesser betrug 3 mm — sehr gut. Die Schnitte waren ebenso schön wie diejenigen von Scorzonera.

Vier kreuzweise angeordnete Gefäss- und Weichbaststrahlen heben sich aus dem peripherisch sehr lose gefügten Wurzelparenchym scharf und elegant hervor. Nahe der Mitte der Wurzel finden wir einen allerdings nicht sehr starken Holzring, der die Gefässstrahlen verbindet und vortrefflich hervortritt. Ebenso gut sind die mächtigen Weichbastkuppen, in welche die Strahlen auslaufen, und der die Rinde deckende Kork erhalten.

Das Paraffin hatte sämmtliche Gewebe gut durchdrungen. Luft war nirgends vorhanden. Von den Sphärokrystallen des Inulins zeigten sich nur wenige in gutem Zustande. Sie scheinen von den bei der Einbettung verwendeten Flüssigkeiten angegriffen zu werden.

Iris pallida Lam.

Wurzel quer. Alkoholmaterial. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Das Object schneidet sich nicht gut. Beim Ansetzen des Messers an der Endodermis reisst das centrale Gefässbündel aus dem Grundgewebe aus und beginnt sich zu rollen. Dem lässt sich zum Theil mit Erfolg entgegentreten, wenn man bei dem Anschneiden des Bündels den Rücken der gekrümmten Präparirnadel leicht der Schnittfläche auflegt.

Immerhin ist meistens nicht zu verhindern, dass wenigstens an der Anschneidestelle die Rinde von der Endodermis abreisst. Auch ersteres Gewebe, obwohl keineswegs dünnwandig, sondern von gequollenem Aussehen, erwies sich nicht als tadellos. Besonders die peripherischen Rindenpartieen waren nicht unbedeutend geschrumpft. In sehr gutem Zustande befand sich dagegen das Gefässbündel.

Chlorophytum Sternbergianum Steud.

Luftwurzel quer. Schnittdicke 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Die dickeren Schnitte schneiden sich schlecht, sie reissen leicht insgesammt aus dem Paraffin aus. Weniger Schwierigkeiten machen Schnitte von 0,020 mm Dicke und darunter.

Das Rindengewebe war nicht überall unversehrt. Zum Theil scheint dasselbe bereits früh zusammengefallen zu sein. Als tadellos dagegen erwies sich das centrale, typisch monocotyle Gefässbündel. An dessen markähnlich entwickeltem, allerdings nicht sehr zartwandigen inneren Gewebe war auch nicht eine Spur von Schrumpfung vorhanden.

Brassia verrucosa Lindl. *

Luftwurzel quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, **0,015**, 0,010 mm.

Auch hier reisst, wie bei Iris, das centrale Gefässbündel unter Aufrollen leicht aus dem umgebenden Parenchym, und es bedarf, um das zu verhindern, der Ueberwachung mit der Nadel. Besonders neigen hierzu die dickeren Schnitte.

Das mikroskopische Bild, welches die dünneren Schnitte abgeben, ist vortrefflich. Das centrale Gefässbündel mit seinen ziemlich dickwandigen Zellformen, die Endodermis, die Rinde, die Aussenscheide und das Velamen treten tadellos hervor. Auch das letztgenannte Gewebe mit seinen spiralig gezeichneten Zellwänden, die deutlich als solche ja nur auf Längsschnitten hervortreten können, zeigt keine Spur von Schrumpfung.

IV. Knollen.

Dahlia variabilis Desf. *

Knollenstückchen von 6 qmm Fläche quer. Schnittdicke 0,030, **0,025**, 0,020, 0,015 mm.

Das weiche, grösstentheils parenchymatische Gewebe schneidet sich gut. Schrumpfungen waren nicht vorhanden. Die Präparate sind wie diejenigen von Scorzonera als sehr elegante zu bezeichnen. Die Sphärokrystalle des Inulins scheinen allerdings, wie dies auch bei Sonchus der Fall war, die Behandlung mit den zu der Einbettung nothwendigen Flüssigkeiten nicht gut zu vertragen.

Solanum tuberosum L.

Knollenstückchen quer. Schnittdicke 0,030, **0,025**, 0,020, 0,015 mm.

Das sehr spröde Object schneidet sich schlecht. Es gestattete nur die Anfertigung dickerer Schnitte, die indessen für die Untersuchung vollständig genügen.

Besonders interessiren hier die Inhaltsbestandtheile des zarten, wasserreichen Grundgewebes. Geht man von der sich gut schneiden-

den Korkschicht aus, so findet man zunächst Zelllagen, welche nur wenige und zwar kleine Stärkekörner enthalten. Dafür trifft man hier ein dichteres, sehr kleine körnchen- und stäbchenförmige Einschlüsse führendes Plasma.

Diese verlieren sich in den tieferen Gewebelagen mehr und mehr, und in dem Maasse, als das geschieht, füllen sich die Zellen mit grösseren und endlich mit vollkommen ausgebildeten Stärkekörnern.

Ungeachtet der grossen Zahl der letzteren werden die zarten Zellwände des Parenchyms keineswegs verdeckt. Dasselbe gilt von den das Grundgewebe durchziehenden Gefässbündeln.

Viele der Stärkekörner sind angeschnitten. Da sie ganz verschiedene Lagen besitzen und von dem Messer an den verschiedensten Stellen getroffen werden, so entstehen nicht ganz leicht verständliche Formen.

V. Blätter.

1. Weiche Blätter.

Zebrina procumbens Schniz. *

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Wie bei den meisten Blättern, so wurde auch hier nur ein aus der Blattspreite geschnittenes Stückchen eingebettet. Dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock schmilzt man dasselbe vertical und zwar so auf, dass die Längsachse des Blattes senkrecht auf der Ebene des Arbeitstisches zu stehen kommt.

Das Object schneidet sich ausgezeichnet. Die Schnitte sind schmale, lange Streifen. Bei ihrer Herstellung hat man darauf zu achten, dass sie sich nicht rollen. Ferner erfordert das Aufsetzen auf dem Objectträger und das Anwärmen zum Zwecke des glatten Auflegens einige Vorsicht. Sollen die Schnitte nicht zusammenfallen oder Falten schlagen, so hat man sowohl das dichte Aneinandersetzen als auch jede stärkere Erwärmung zu vermeiden.

Das anatomische Gesammtbild, besonders der dickeren Schnitte, muss als ein sehr gutes bezeichnet werden. Ausserordentlich grosse Epidermiszellen — es zeichnen sich in dieser Hinsicht be-

sonders diejenigen der Blattoberseite aus — decken die räumlich höchstens den vierten Theil des Schnittes ausmachende kleinzellige Chlorophyllschicht. Dieselbe ist meist nur drei Zelllagen stark und führt reichlich Chlorophyllkörner, welche natürlich entfärbt, sonst aber sammt ihren Einschlüssen gut erhalten sind.

Sehr scharf treten die kleinen Spaltöffnungen, sowie die grossen Athemhöhlen hervor. Das Paraffin füllt diese und ebenso die intercellularen Räume des Blattes überhaupt vollständig aus.

Letzteres ist wesentlich eine Folge davon, dass, wie bereits oben angedeutet, nur ein Blattausschnitt eingebettet wurde. Aus einem solchen treibt der Alkohol die Luft leicht, aus dem geschlossenen ganzen Blatt dagegen nur sehr schwer aus. Nur in ersterem Falle lässt sich ein vollständiges Durchdringen mit Paraffin erwarten.

Dünne Schnitte, diejenigen unter 0,020 mm, eignen sich vorzugsweise zum Studium der kleinzelligen Chlorophyllschicht. Die grosszelligen Epidermiszellen bleiben an ihnen nicht ganz unversehrt. Es scheint, dass sie gerade in Folge ihrer Grösse dem Druck, der besonders bei dünnem Schneiden von dem Messer ausgeübt wird, keinen genügenden Widerstand entgegensetzen. Verschiebungen und Biegungen, vorzugsweise der radialen Zellwände, stellen sich ein.

Sehr bedeutend pflegen indessen derartige Verschiebungen nicht zu sein. Nicht selten trifft man sogar Stellen des Präparates, an denen die betreffenden Zellformen vollständig intact sind.

Trotz derartiger kleiner Schäden hat man die Präparate entschieden über die aus freier Hand geschnittenen zu stellen. Auf letzterem Wege ist es ganz unmöglich, gleichmässig dünne Schnitte von so grosser Schnittfläche — die Präparate waren über 2 cm lang — zu erhalten. Gerade für eine a u s g i e b i g e Durchforschung des Blattbaues müssen aber, besonders wenn man die verschiedenen Schnittrichtungen berücksichtigt, derartig vollständige Schnitte von grossem Werth sein.

Begonia Rex Putz. var. α.

Blatt q u e r. Schnittdicke 0,030, **0,025**, **0,020**, 0,015, 0,010 mm. Das Object schneidet sich sehr gut.

Die centrale Chlorophyllschicht ist ähnlich derjenigen des Blattes

von Zebrina gebaut. Sie wird auf beiden Seiten von einer Doppellage ebenfalls ausserordentlich grosser Zellformen und einer kleinzelligen Aussenschicht gedeckt.

Am meisten interessirt uns das Verhalten des grosszelligen Wassergewebes. Ungeachtet seiner Dünnwandigkeit zeigt sich an ihm auch nicht eine Spur von Schrumpfung. Ebensowenig findet an den äusserst zarten Zellwänden auch der dünnen Schnitte eine Verletzung oder Verschiebung statt. Die Wände werden hier nur so durchsichtig, dass es zu ihrem scharfen Erkennen bereits starker Objectivsysteme bedarf.

Aeusserlich ähnliche Zellformen zweier Pflanzen können sich verschieden verhalten, wenn die bei der Einbettung angewandten Flüssigkeiten — es handelt sich hier besonders um den Alkohol — verschieden auf sie einwirken. Bleiben alsdann, wie das beispielsweise auch für das embryonale Gewebe zutrifft, die Zellwände weich, stehen sie hinsichtlich ihres Härtegrades unter demjenigen des Paraffins, in dem sie eingebettet sind, so werden auch an dünnen Schnitten selbst verhältnissmässig grosse Zellen keine nachtheiligen Veränderungen erfahren. Etwas Anderes ist es, werden die Zellwände hart, härter als das Paraffin. Sie verlieren dann an der Einschmelzmasse mehr oder weniger den festen Halt. In demselben Verhältniss wirkt der Messerdruck auf sie direct; er veranlasst, war die Membran sehr spröde geworden, das Brechen, war dies nicht der Fall, die oben erwähnten Verschiebungen.

Das bezieht sich natürlich nur auf verhältnissmässig dünnwandige Zellformen. Besitzen Zellen, wie beispielsweise die Holzzellen oder stärker verdicktes Parenchym, eine festere Structur, sind sie an sich schon dem Messerdruck gewachsen, so haben Festigkeitsunterschiede zwischen ihnen und der Einbettungsmasse verhältnissmässig weniger zu sagen. Bei sehr spröde gewordenem Material bricht dann höchstens, wie wir dies an der Aussenscheide von Bryonia gesehen haben, das Gewebe an der einen oder anderen Stelle durch.

Begonia Rex Putz. var. β.

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010, 0,005 mm.

Das Object war vollständig von Paraffin durchdrungen; es schneidet sich leicht. Schnitte unter 0,010 mm wurden unvollständig.

Die anatomischen Verhältnisse sind, abgesehen von dem Fehlen des erwähnten grosszelligen Wassergewebes, ähnliche wie bei dem zuletzt beschriebenen Blatt. Als neu kommen die zahlreichen einfachen oder zusammengesetzten Haare hinzu. Letztere werden entweder durchgehends zwei Zelllagen stark, oder sie erhalten basal deren drei.

Die Haare stehen ziemlich scharf senkrecht auf der Blattfläche, sie liegen somit meistens ganz in der Schnittebene. Ungeachtet der dünnen Zellwände ist von Verschiebungen oder von Schrumpfung keine Rede. Es lassen sich sogar bei entsprechend geänderter Orientirung von den Einzelhaaren sehr schöne Querschnitte anfertigen.

Auch die äusserst zarten Blattgewebe blieben vollständig intact, sie neigen, wie das bei den ausgebildeten Blättern überhaupt der Fall zu sein pflegt, nicht zum Schrumpfen. Eher treten hier und da leichte Contractionen des Plasmas, die sich übrigens bei vorsichtiger Anwendung des Alkohols verhindern lassen, auf.

Ganz vorzüglich giebt das anatomische Bild die Gefässbündel und die Gefässendigungen. Gerade für das Studium dieser Verhältnisse sind unsere Schnitte sehr werthvoll und kaum durch solche aus freier Hand zu ersetzen.

Cyclamen europaeum L.

Blatt quer. Schnittdicke 0,025, 0,020, 0,015, 0,010, 0,005 mm. Das Object schneidet sich vorzüglich.

Bei der Grösse des Blattes sind vollständige Querschnitte unmöglich. Man hat sich mit dem Einlegen von Stücken zu begnügen, die man an verschiedenen Stellen einer Querzone des Blattes entnimmt.

Das Blatt ist ziemlich dick, sein Gewebe weich. Nur an den grösseren Gefässbündeln trifft man einige Holzzellen. Von dem umgebenden zarten Gewebe reissen diese nicht los.

Die stärkeren sowohl wie die schwächeren Gefässbündel treten bei Schnitten von 0,010 und 0,005 mm Schnittdicke — letztere ist bei pflanzlichen Objecten wohl überhaupt das Minimum des Erreichbaren —

prachtvoll hervor. Ebenso vorzügliche Bilder liefert das Pallisaden- und das Schwammparenchym.

An ersterem, dem engzelligeren Gewebe, wurden bei Schnitten von der genannten Dicke die oberen sowie die unteren Zellwände zum allergrössten Theil abgeschnitten. Man kann durch die Zellen hindurchsehen. Wie der Vergleich mit dickeren Präparaten lehrt, gehen hierbei keine Inhaltsbestandtheile verloren.

Schnitte von 0,015 mm zeigen von beiden Geweben mindestens eine jetzt geschlossene Zelllage. Die Zellen sind optisch leicht zu durchdringen.

Letzteres ändert sich indessen an Schnitten, welche die genannte Dicke übersteigen, mehr und mehr, und zwar besonders hinsichtlich des Pallisadenparenchyms. Mehrere übereinander befindliche Lagen desselben lassen — und es trägt hierzu der dichte Inhalt viel bei — das Präparat hier dunkel erscheinen.

Gewebeschrumpfungen sind nicht vorhanden. An einzelnen Stellen zeigte das Schwammparenchym leichte Contraction des Protoplasmas.

Selbst an dem dünnsten Schnitte findet ein Gewebeausfall nicht statt.

Elodea canadensis Michx.

Blätter längs. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object schneidet sich ausgezeichnet.

Die Präparate wurden gelegentlich der Herstellung von Schnitten durch den Stammvegetationspunkt gewonnen. Sie stammen somit von verhältnissmässig jungen, den ersten zehn Internodien des Stammes zugehörigen Blättchen.

Das anatomische Bild ist ein vorzügliches. Derartig elegante Schnitte durch nur zwei Zelllagen starke Blätter sind aus freier Hand gar nicht herzustellen.

Selaginella denticulata Lk.

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm. Das Object schneidet sich gut.

In Bezug auf die anatomischen Verhältnisse stehen die Blätter

denjenigen von Elodea sehr nahe. Auch hier baut sich das Blatt aus zwei Zelllagen auf. Die obere, chlorophyllführende, besitzt Zellen, die nach innen papillär auswachsen und mit der Spitze die Zellen der Blattunterseite gerade berühren. Grössere intercellulare Räume entstehen in Folge dessen. Dieselben waren, obwohl das Blatt ganz eingebettet wurde, vollständig von Paraffin erfüllt. Es scheint, dass die noch sehr dünnen Aussenwände solches leichter eintreten lassen, als das sonst bei Blättern der Fall ist.

Hinsichtlich der Güte des Präparates gilt das bei Elodea Gesagte.

2. Feste Blätter.

Peperomia pereskiifolia H. B.

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, **0,020**, **0,015**, 0,010 mm. Das Object schneidet sich gut. Nur Stücke aus einer Querzone des Blattes fanden Verwendung.

Das dicke, mit starker Aussenwand versehene Blatt steht hinsichtlich der Festigkeitsverhältnisse auf der Uebergangsstufe zu den hier zu besprechenden Blättern.

Unter der Aussenschicht befindet sich ein epidermales Wassergewebe, das unsere Aufmerksamkeit besonders in Anspruch nimmt. Ungeachtet seiner ziemlich grossen und sehr dünnwandigen Zellen zeigt es weder Membranverschiebungen noch Schrumpfungen.

Ebenso vorzüglich sind die übrigen Gewebe erhalten, sie geben ein ebenso instructives als elegantes Bild der anatomischen Verhältnisse.

Zum Studium des Wassergewebes empfehlen sich dickere, zu demjenigen der übrigen Gewebe und besonders der Spaltöffnungen dünnere Schnitte.

Erwähnt seien noch die in die Epidermis eingesenkten Drüsenhaare, welche, wie die Haargebilde überhaupt, die Einbettung sehr gut vertragen.

Clivia nobilis Lindl.

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, **0,020**, **0,015**, 0,010 mm. Das Object schneidet sich gut.

Die Festigkeit des Blattes wird vorzugsweise durch die stark

verdickten und cuticularisirten Aussenwände der Epidermis — es zeichnen sich in dieser Hinsicht die Blattränder besonders aus — bedingt. Indessen gehört auch das der Differenzirung in Pallisaden- und Schwammparenchym entbehrende, aus rundlichen Zellformen bestehende Grundgewebe schon zu den festeren Parenchymen.

Die Zellen, welche an die zahlreich vorhandenen Luftgänge anstossen, fallen nach und nach zusammen und tragen so zu deren Vergrösserung bei. Diese zusammenfallenden Zellen darf man nicht mit geschrumpften verwechseln, die in der That nirgends vorhanden sind.

Schnitte von 0,020 mm Dicke geben besonders in Bezug auf das anatomische Gesammtbild prachtvolle Präparate ab. Hinsichtlich der festen Gewebetheile kann man bis zu 0,005 mm herabgehen. Die Schnitte zeigen alsdann zwar oft Neigung zum Zerknittern, sie sind auch selten vollständig. Zum Studium feinerer anatomischer Details der cuticularisirten Aussenwand, ferner der schön hervortretenden massiven Spaltöffnungszellen oder selbst der verhältnissmässig weichen Gefässbündel eignen sie sich indessen vorzüglich.

Von den Zellinhalten treten besonders die Krystalle von oxalsaurem Kalk, welche sich als schöne Individuen regelmässig in subepidermalen Zellen vorfinden, gut hervor.

Das Paraffin drang auch in die grossen Luftlücken ein.

Die Herstellung vollständiger Blattquerschnitte macht keine Schwierigkeiten.

Cyperus alternifolius L.

Blatt quer. Schnittdicke 0,020, 0,015, 0,010 mm. Vollständige Querschnitte. Das Object schneidet sich nicht ganz leicht.

Das Blatt ist bereits ein festes. Dies veranlassen unter der Epidermis hinziehende Sklerenchymstränge, sowie die die zahlreichen Gefässbündel umschliessenden Faserscheiden.

Die Epidermis der Blattoberseite setzt sich aus schon ziemlich grossen Zellen zusammen. Wir begegnen hier wieder der an ähnlichen Zellen des Blattes von Zebrina hervorgetretenen Erscheinung, dass bei dünnem Schneiden leicht Membranverschiebungen stattfinden.

Besonders häufig zeigen sich solche an Schnitten von 0,010 mm Dicke. Man erhält auch hier keine zusammenhängenden Gewebe mehr, sondern, unter Ausfall des grösseren Theils des Parenchyms, nur die äusseren Zelllagen und die Gefässbündel. Zu deren genauer Durchforschung eignen sich gerade derartige Präparate.

Schnitte von 0,020 mm Dicke geben vollständig intacte, in jeder Hinsicht schöne Bilder.

Hier, wie bei den festeren Blättern überhaupt, empfiehlt es sich, das Messer des Mikrotoms etwas schräg zu dessen Mittelschiene zu stellen.

Phoenix dactylifera L.

Blattfieder quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Obwohl vollständig vom Paraffin durchdrungen, schneidet sich das Object sehr schlecht. Die Schnitte rollen sich stark zusammen, oder, was noch schlimmer ist, sie schlagen während des Schneidens Falten. Um das thunlichst zu verhindern, bedarf es der fortwährenden Nachhülfe mit der Präparirnadel. Nichtsdestoweniger gehen, was bei weichen Objecten nie der Fall ist, stets eine grössere Zahl von Schnitten als unbrauchbar verloren.

Dabei sind die Festigkeitsverhältnisse kaum bedeutender, als bei dem Blatt von Cyperus. Die hier ebenfalls vorkommenden subepidermalen Sklerenchymstränge werden zwar etwas stärker; das kann indessen, da sich bedeutend härtere Blätter noch leidlich gut schneiden lassen, nicht ausschlaggebend sein.

Möglicherweise begünstigt die Anordnung der mechanischen Zellformen in dem Grundgewebe das unangenehme Verhalten, oder es spielen Veränderungen, welche die Zellwände durch die beim Einbetten angewandten Flüssigkeiten erleiden, eine Rolle.

Dass die Zellwände recht spröde geworden sind, darauf deutet das an Schnitten von 0,010 mm häufig beobachtete Losreissen einzelner Faserzellen von weicheren Elementen ihres Gefässbündels.

Das durchgängig gleichartig entwickelte Grundgewebe zeigt keine Schrumpfung.

Pinus silvestris L. *

Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, 0,010 mm. Alkoholmaterial.

Zum Einbetten wurden sowohl ganze Nadeln, als auch 5 mm lange Stücke von solchen, die somit an beiden Enden Schnittflächen besassen, verwandt. Erstere waren nur unvollständig vom Paraffin durchdrungen und sehr stark geschrumpft, letztere dagegen erwiesen sich in jeder Hinsicht als tadellos.

Gelegentlich der Besprechung der Stammschnitte von Peperomia ist bereits darauf hingewiesen worden, dass das Paraffin vorzugsweise von den Schnittflächen aus eindringt, dagegen wenig oder nicht durch stark verdickte und cuticularisirte Aussenwände geht. Auch der vorliegende Fall spricht für diese Ansicht.

Das Schneiden des Objectes vollzog sich ebenfalls nicht ohne Schwierigkeit.

Wie bei allen härteren Pflanzentheilen kommt es vor, dass mit dem Ansetzen des Messers an dem Object der entstehende Schnitt sich unter mehr oder minder grosser Neigung zum Rollen von dem Paraffin trennt. Man hat beides mit der Präparirnadel thunlichst zu verhindern, eventuell den Schnitt ohne Paraffinanhang auf den Objectträger zu bringen.

Vollständig unbrauchbar sind die Schnitte, wenn, wie das vereinzelt ebenfalls vorkommt, Stücke aus ihnen ausreissen. Die Zellwände waren auch hier spröde.

Immerhin liegen die Verhältnisse wesentlich günstiger, als bei Phoenix. Es gehen, da die Neigung zum Faltenschlagen oder Zerknittern nur eine verhältnissmässig geringe ist, weitaus weniger Schnitte verloren.

Ferner entschädigt für die grössere Mühe die Schönheit der gelungenen Schnitte. Mit ihnen halten die aus freier Hand hergestellten auch nicht im Entferntesten einen Vergleich aus. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch die letzteren bei der Kleinheit der Schnittfläche und der Härte des Materials keineswegs leicht und ohne vergebliche Versuche gelingen.

Ausgezeichnet tritt auf unseren Präparaten das von stark verdickten Aussenzellen umschlossene, verhältnissmässig dickwandige

Rindenparenchym mit seinen Harzgängen und den charakteristischen Membraneinstülpungen hervor. Weder Schrumpfung noch Zerreissung der ungleich festen Gewebe machen sich bemerkbar.

Dasselbe gilt von dem von einer Scheide umgebenen, mit behöften Poren versehenen centralen Parenchym und den beiden Gefässbündeln.

Schnitte von 0,010 mm und darunter werden unvollständig. Sie eignen sich indessen noch zum Studium der die Gefässbündel betreffenden Einzelheiten.

Bromelia antiacantha Bert.

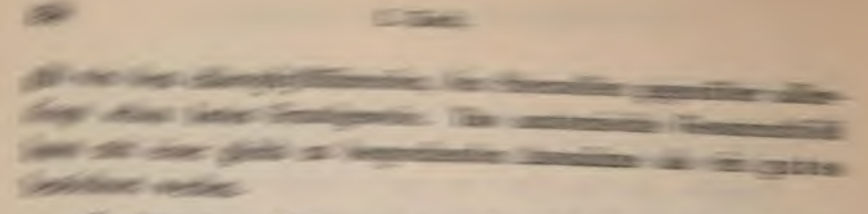
Blatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, 0,015, **0,010**, 0,005 mm.

Das Blatt ist noch fester als dasjenige von Pinus. Dessenungeachtet schneidet es sich nicht gerade schlecht. Es kommt allerdings vor, dass mit dem Ansetzen des Messers an dem Object der entstehende Schnitt sich vom Paraffin trennt und als solcher auf den Objectträger übertragen werden muss. Indessen sind derartige Fälle nicht häufig.

Die dünnsten Schnitte — solche von 0,005 mm Dicke — ergeben wie gewöhnlich einen wenn auch nicht bedeutenden Ausfall an weicherem, dem parenchymatischen Gewebe. Sie taugen besonders zum Studium der Gefässbündel.

Schnitte von 0,010 mm Dicke zeigen einen derartigen Ausfall schon nicht mehr. Sie lehren, dass die Festigkeit des Blattes in erster Linie durch die starken, die zahlreichen Gefässbündel bekleidenden Gruppen von Faserzellen bedingt wird, die sich bis fast zum Schwinden ihres Lumens verdicken. In zweiter Linie kommen die ebenfalls stark verdickten Epidermiszellen und unter Umständen ähnliche Zellformen der ersten subepidermalen Lage in Betracht.

Die Differenzirung in Schwamm- und Pallisadenparenchym fällt weg. Wir treffen ein aus polygonalen Zellen bestehendes Grundgewebe, sowie zwischen den Gefässbündeln Gänge, die zum Theil mit sehr lose gefügten, sternförmigen Zellen ausgefüllt sind. Letztere bleiben, trotz der Dünnwandigkeit ihrer Membranen und ihres grossen Wassergehalts, in durchaus gutem Zustand. Das Gleiche



[illegible]

Zur Entscheidung dieser Frage wurden sowohl die gerade in Alkohol als auch die in Chloroform befindlichen Blattstückchen einer Untersuchung unterworfen. Diese ergab, dass in beiden Fällen noch die normale Gewebebeschaffenheit vorhanden ist. Mithin muss in der Paraffinlösung die Schrumpfung eingetreten sein.

Beim Einbringen der Objecte in die genannte Lösung hat — soll die Einbettung gelingen — das Chloroform allmählich heraus-zudiffundiren. Es muss in dem Maasse, als dies geschieht, durch stets concentrirtere Paraffinlösungen und endlich durch reines Paraffin ersetzt werden. Dieser Vorgang wird erleichtert, wenn das Object allseitig für die betreffenden Lösungen durchlässig, ferner wenn das Chloroform, wie das bei Zellen mit dichtem protoplasmatischem

Inhalt der Fall, in feinster Vertheilung hier vorhanden und bis zu gewissem Grade gehalten ist.

Beides trifft für unser Object nicht zu. Dasselbe hat sehr dicke und cuticularisirte Aussenwände; es besteht beim Einbringen in die Einbettungsflüssigkeit auf einer Seite fast nur aus einer durch dünne Membranen gehaltenen Chloroformschicht. Man kann nun annehmen, dass bei der Mächtigkeit dieser Schicht einerseits und der Beschränkung des Diffusionsvorganges vorzugsweise auf die Schnittflächen des Blattstückchens andrerseits Chloroform mit eintretender Erwärmung gasförmig austritt, eine Schrumpfung somit unvermeidlich ist.

Bei einer versuchsweise auf dem Wasserbad ausgeführten Erwärmung, die allerdings bedeutender ist als diejenige in dem zu Einbettungszwecken regulirten Wärmeschrank, konnte ein derartiger Vorgang direct beobachtet werden. Es fand hier, wie die zahlreich an den Schnittflächen des Objectes entweichenden Gasblasen bekunden, eine sogar lebhafte Gasentwickelung statt. In diesem Falle erwiesen sich sämmtliche dünnwandige Gewebe des Pflanzenstückes als total zusammengefallen.

Hohenbergia strobilacea Schult.

Vollständige Blattquerschnitte. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, **0,015**, 0,010 mm.

Das Blatt ist mindestens ebenso hart wie dasjenige von Bromelia. Die Epidermis und die anstossende Zelllage bestehen aus bis fast zum Verschwinden des Lumens verdickten Zellen. Die Gefässbündel besitzen bedeutende Belege mit ähnlich stark verdickten Zellformen. Trotzdem schneidet sich das Blatt noch leidlich gut. Die Schnitte reissen nur selten aus dem Paraffin, und wenn sie sich auch, wozu ziemlich starke Neigung vorhanden ist, rollen, so lässt sich dem doch wirksam mit der Präparirnadel entgegentreten.

Wie bei festeren Geweben überhaupt, so fallen auch hier die dünnen Schnitte am besten aus. Sie — und darunter besonders diejenigen von 0,015 mm Dicke — geben schöne Bilder. Weder an dem Gefässbündel noch an dem dünnwandigen chlorophyllhaltigen Parenchym bemerkt man eine Spur von Schrumpfung.

Anders verhält es sich mit dem uns hier zumeist interessirenden Wassergewebe, das wie bei Bromelia sehr mächtig entwickelt ist und nahezu die Hälfte des Blattgewebes ausmacht. Dasselbe war ebenfalls total zusammengefallen.

Auch die Anwendung der lauwarm gesättigten Lösung von Paraffin in Chloroform ergab kein befriedigendes Resultat. An beiden Enden des halbmondförmigen Blattquerschnittes fanden sich zwar eine Anzahl vollständig intacter derartiger Zellen, die übrigen indessen — quantitativ kamen ihnen gegenüber die erhaltenen Zellen gar nicht in Betracht — waren sehr stark geschrumpft.

Immerhin hat dieses Resultat theoretisches Interesse. Es beweist, dass Zellen, welche das Wassergewebe ausmachen, an sich recht wohl vom Paraffin durchdrungen werden können. Sie wurden es in dem speciellen Falle wahrscheinlich deshalb, weil hier, an den Blatträndern, die betreffende Gewebeschicht eine minder dicke ist. Dass aber dünne Lagen eines Wassergewebes vollständig intact bleiben, beweisen unter anderem die Blätter von Peperomia, an denen, wie wir gesehen haben, derartige Gewebe sich in durchaus gutem Zustande erhalten.

Hinsichtlich mächtiger derartiger Gewebe kann übrigens ähnliches gelten, wenn sie so angeordnet sind, dass die Einschmelzmasse möglichst von allen Seiten her einzudringen vermag. An den knollig entwickelten extramatrikalen Theilen des Haustoriums von Rhinanthus minor beispielsweise, die in bestimmten Entwickelungsstadien fast ausschliesslich aus äusserst dünnen, wasserhaltigen Zellen bestehen, ist das der Fall.

Phormium tenax Forst. *

Blatt quer. Alkoholmaterial. Schnittdicke 0,020, 0,015 mm.

Die Blätter gehören zu den festesten, welche überhaupt existiren. Sie wurden zum Schneiden gewählt, um zu sehen, wie weit man in Bezug auf harte Pflanzentheile überhaupt gehen kann.

Bedingt ist die grosse Festigkeit vorzugsweise durch die mächtigen Lagen der die Gefässbündel bekleidenden Faserzellen.

Diese sind bis zum Verschwinden des Lumens verdickt und sehr hart.

Ausserdem betheiligen sich Epidermiszellen mit allerdings nur mässig stark verdickten Wänden. Darunter liegt subepidermales, chlorophyllfreies, ziemlich dünnwandiges Parenchym, dem die aus ähnlichen, ebenfalls polygonalen Zellformen bestehende Chlorophyllschicht folgt. Unter dieser befinden sich die bereits erwähnten, zahlreichen und sehr regelmässig angeordneten Gefässbündel, und zwischen ihnen Gänge, welche unser Interesse in Anspruch nehmen, weil sie meistens von einem äusserst dünnwandigen, fast nur Wasser führenden Parenchym ausgefüllt werden.

An letzterem zeigt sich — und es ist das wahrscheinlich eine Folge des verhältnissmässig geringen Zellquantums, das jeder der Gänge birgt — auch nicht eine Spur von Schrumpfung. Ebensowenig finden wir eine solche an anderen Stellen der Präparate, die als schöne bezeichnet werden müssen.

Kleinere Mängel anderer Art sind nur hinsichtlich der mechanischen Zellformen vorhanden. An den Gruppen, zu welchen sie sich vereinigen, bemerkt man eine den Gang des Messers markirende Streifung. Das Messer geht in Folge der Festigkeit dieser Theile nicht glatt durch. Es sägt, und man hört bei dieser Gelegenheit einen eigenartig knirschenden Ton.

Dass es somit zum Schneiden einer gewissen Gewalt bedarf, leuchtet ein. Nicht selten führt dies dazu, dass einzelne Fasergruppen an den Stellen, wo das Messer ansetzt, auseinander gesprengt werden.

Sonstige Zerreissungen kommen nicht vor. Das erscheint um so bemerkenswerther, als sich das Blatt aus Zellen der allerverschiedensten Festigkeit — es sei im Gegensatz zu den mechanischen Zellformen an das äusserst dünnwandige Parenchym, welches die zwischen den Gefässbündeln befindlichen Gänge ausfüllt, erinnert — aufbaut.

In einem Falle — es handelte sich um einen Blattquerschnitt, welcher von einer der dicksten Stellen eines 1,5 cm breiten Blattes resp. Blattstückes genommen werden sollte — liess sich das Object überhaupt nicht schneiden. Es wurde nun, wie dies ja auch bei der Wurzel von Scorzonera aus ähnlichen Gründen geschah, die Schnittfläche verkleinert. Zur Bearbeitung gelangte das einer dünneren Blattstelle entnommene und nur 5 mm breite Blattstückchen. Das geschah mit Erfolg; das Object schnitt sich noch leidlich gut.

Neigung zum Rollen sowie zum Ausreissen aus dem Paraffin war zwar vorhanden, doch liess sich beides bis zu gewissem Grade mit der Präparirnadel verhindern.

Immerhin lässt sich sagen, dass Objecte von der Festigkeit der hier in Frage kommenden auf der Grenze derjenigen stehen, die überhaupt noch in Paraffin geschnitten werden können.

VI. Blüthe, Sexualorgane.

Zebrina procumbens Schniz.*

Kronblatt quer. Schnittdicke 0,030, **0,025**, 0,020, 0,015, 0,010 mm. Die Orientirung des Objectes erfolgt wie bei den Laubblättern.

Es handelte sich vor Allem darum, zu sehen, ob so dünne pflanzliche Objecte, die sich aus äusserst zarten, nicht mehr in jugendlichstem Entwickelungsstadium befindlichen, mithin wasserreichen Zellen zusammensetzen, gut von Paraffin durchdrungen werden und nicht schrumpfen. Beides ist in der That der Fall, das Object schneidet sich sehr gut. An dem anatomischen Bild, welches das nur sechs Zelllagen starke Blatt giebt, lässt sich nicht das Mindeste aussetzen.

Erwähnt muss werden, dass an dünnen Schnitten die Durchsichtigkeit der Präparate eine sehr grosse, fast störende ist. Man wähle somit mindestens eine Schnittdicke von 0,020 mm.

Zebrina procumbens Schniz.*

Kelchblatt quer. Schnittdicke 0,030, 0,025, 0,020, **0,015**, 0,010 mm.

Die Blättchen bestehen aus einer ziemlich grosszelligen Epidermis und einem lose gefügten, 3—5 Zelllagen starken Füllgewebe. Die Zellwände beider sind dicker als diejenigen der Kronblätter, aber immer noch dünnwandig; es ist bemerkenswerth, dass sie in Folge der Behandlung mit den zur Einbettung nöthigen Flüssigkeiten ziemlich spröde werden. Wenn das auch hier keine Zellverletzungen oder Membranverschiebungen zur Folge hat, so schneiden sich die

Objecte doch nicht gerade gut. Das Ausreissen aus dem Paraffin kommt häufiger vor, es fallen leicht Schnitte aus.

Im Allgemeinen kann das anatomische Bild als ein gutes bezeichnet werden. Gewebeschrumpfungen sind ebenfalls nicht vorhanden.

Zebrina procumbens Schniz. *

Querschnitte durch Antheren, Filamente und den Fruchtknoten. Schnittdicke 0,015 mm.

Die von Kelch- und Kronblättern befreite Blüthe wurde eingebettet und dem zum Einspannen in den Objecthalter bestimmten Paraffinblock vertical und zwar so aufgeschmolzen, dass die Blüthenbasis dem Block zugekehrt ist. Die ersten Schnitte gehen nicht genau quer durch die Antheren, weil die Filamente nicht scharf parallel mit der Längsachse der Blüthe verlaufen, sondern zu ihr etwas geneigt sind. Unter Benutzung der mechanischen Hülfsmittel des Objecthalters hat man eines der Staubgefässe genau einzustellen. Mit einiger Uebung gelingt das leicht, wenn man an der Schnittfläche die durch das Paraffin durchscheinenden Umrisse der betreffenden Anthere berücksichtigt.

In unserem Falle wurde die genau vertical orientirte Anthere nicht vollständig, sondern in Abständen von 0,010 mm geschnitten. Man erhielt schöne Bilder von den bereits aufgesprungenen Antherenfächern, die ihren Inhalt schon grösstentheils entlassen hatten. Die hier noch vorhandenen Pollenkörner sind vollständig intact. Auch das übrige Gewebe, die fibröse Zelllage der Antherenfächer sowohl, als der zum Connectiv gehörige Gewebekörper befand sich in durchaus gutem Zustand.

Tiefer geführte Schnitte treffen ausschliesslich das Filament. Es besteht aus einem centralen, reducirten Gefässbündelchen und einem deckenden, äusserst zartwandigen, an Schnitten von 0,015 mm Dicke fast noch zu durchsichtigen Parenchym. Trotz seines grossen Wassergehaltes ist hier ebenso wenig wie bei den Antheren von einer Schrumpfung etwas zu bemerken.

Schneidet man weiter, so gelangt man an den Fruchtknoten. Wenn nicht schon früher, so wird es, da die seitherige Stellung des Gesammtobjectes sich auf eines der schräg zur Blüthenlängsachse

verlaufenden Staubgefässe bezog, jedenfalls jetzt nothwendig, neu und zwar auf den Fruchtknoten selbst einzustellen.

Die ersten Schnitte geben die Fruchtknotenwand quer. Die lose gefügten, noch jugendlichen Zellen lassen das körnige, jeder Spur von Contraction entbehrende Plasma und die grossen Kerne prachtvoll hervortreten.

In noch höherem Maasse gilt das von den alsbald an die Reihe kommenden durchschnittenen Samenknospen. Das sie aufbauende Gewebe war noch durchgehends ein embryonales. Man sucht hier vergebens nach einer auch nur schwach verschobenen Zellwand oder nach einer Stelle, wo sich von dieser das Plasma auch nur leicht abhebt. Die Präparate geben geradezu musterhafte Bilder, die in Bezug auf Güte und Eleganz nur mit den oben beschriebenen Schnitten durch die Stamm- und Wurzelvegetationspunkte verglichen werden können.

Besonderen Werth möchte ich darauf legen, dass, wie sich das ja auch an den genannten Vegetationspunkten und besonders an denjenigen der Wurzel zeigte, der todte Protoplasmakörper sich äusserlich, soweit sich das optisch beurtheilen lässt, kaum von dem lebenden unterscheidet.

Dies zeigt sich auch sehr schön an dem quer durchschnittenen Embryosack der Samenknospe. Dessen Wandung liegt ein sehr feinkörniger, protoplasmatischer Beleg an, von dem aus zahlreiche dünne und dünnste Fäden nach einer centralen, zwei ebenso schön erhaltene Zellkerne umschliessenden Plasmaansammlung führen.

Berücksichtigt man, dass sich das Object vorzüglich schneidet, die Herstellung vollständiger Schnittserien somit nicht die mindeste Schwierigkeit macht, so lässt sich, im Hinblick auf das erwähnte Verhalten des Plasmas, mit Sicherheit vermuthen, dass man auf diesem Wege über Entwickelungsvorgänge, die sich in einem so wichtigen Organ wie dem Embryosack abspielen, mit einer Genauigkeit und Sicherheit Auskunft erhalten kann, die bei Anwendung der seitherigen Methoden, wenigstens soweit sie irgendwie stärkere oder ältere Samenknospen betreffen, nicht möglich ist.

Tulipa Gesneriana L. *

Narbe und Griffel quer. Serie von 10 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object wurde vertical orientirt. Es schneidet sich vorzüglich.

Die Narbenfläche sowie den Griffelkanal kleiden zartwandige, protoplasmareiche, an der Aussenseite papillös entwickelte Epidermiszellen aus, welche zur Fixirung des Pollens und zur Leitung der Pollenschläuche bestimmt sind. Die anatomischen Bilder zeigen auf's Schönste, wie das Epithel diese Bestimmung erfüllt. Dasselbe ist ebenso wie die männlichen Sexualelemente auf's Beste erhalten.

Aehnliches lässt sich auch von der Wandung des Griffels sagen. Sie besteht aus einer ziemlich mächtigen Lage von Parenchym, dessen Zellen bereits über die erste Jugend hinaus sind und dementsprechend nicht selten eine die Güte des Bildes allerdings kaum beeinträchtigende leichte Contraction des Plasmas wahrnehmen lassen. Zahlreiche, der mechanischen Zellen entbehrende, schön hervortretende Gefässbündel sind in das Parenchym eingestreut.

Tulipa Gesneriana L. *

Narbe und Griffel längs. Serie von 12 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm. Horizontale Orientirung des Objectes. Dasselbe schneidet sich ausgezeichnet.

Die Längsschnitte ergänzen die zuletzt beschriebene Serie auf's Vollständigste. Hinsichtlich der Gewebebeschaffenheit gilt das dort Gesagte. Die an Einzelschnitten oder an Serien einer Schnittrichtung schwer verständlichen grossen Höhlen der Narbe oder der Narbenlappen lassen sich jetzt klar übersehen.

Bei Untersuchungen über Befruchtung, speciell über das Wachsthum des Pollens und des Pollenschlauches, seine etwaige Verzweigung und sein Vordringen in den Fruchtknoten, dürfte die Paraffineinbettung, welche ein vollständiges Schneiden der die Leitungswege abgebenden Organe mit Leichtigkeit gestattet, vorzügliche Dienste leisten.

Da in unserem Falle ein tieferes Eingehen auf diese Verhältnisse nicht beabsichtigt war, so wurden die Schnitte nur in Abständen von 0,15 mm dem Objecte entnommen.

Cyclamen europaeum L. *

Fruchtknoten quer. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object schneidet sich ausgezeichnet. Verticale Orientirung.

Die Placenta bestand zur Zeit der Untersuchung aus ziemlich mächtig entwickeltem dünnwandigen und jugendlichen Parenchym, das weder Schrumpfung noch Contraction des Plasmas wahrnehmen lässt. Ebenso verhält es sich mit der verhältnissmässig dünnen Fruchtknotenwand. Zwischen beiden finden sich, dicht gedrängt, die Samenknospen vor. Sie sind, hinsichtlich der Güte des Bildes, vor Allem zu nennen; es gilt für sie das bei der Beschreibung der Ovula von Zebrina Gesagte.

Will man sich über die entwickelungsgeschichtlichen Vorgänge an und in der Samenknospe genauer unterrichten, so hat man auf die Orientirung des Objectes ganz besonders zu achten. Bevor man an die Bearbeitung des Paraffinmaterials geht, stelle man an nichteingebettetem Material durch Schnitte aus freier Hand fest, ob die Ovula parallel, geneigt oder senkrecht zur Längsachse der Blüthe stehen. Dementsprechend ist das Object dem Paraffinblock aufzuschmelzen und die feine Orientirung vorzunehmen. Selbst wenn das geschehen ist, controllire man an Einzelschnitten von Zeit zu Zeit unter dem Mikroskop die Schnittrichtung und ändere wenn nöthig während des Schneidens die feine Einstellung. Stets werde berücksichtigt, dass nicht ganz scharf längs oder quer gehende Schnitte ein schwer zu enträthselndes, oft völlig unbrauchbares Bild abgeben.

Cyclamen europaeum L. *

Fruchtknoten längs. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object schneidet sich vorzüglich. Horizontale Orientirung.

Die Präparate ergänzen die vorstehend beschriebene Serie. Sie besitzen die gleichen Vorzüge und geben zu weiteren Bemerkungen keinen Anlass.

Hyacinthus orientalis L. *

Querschnitte durch Kronröhre, Staubgefässe und den Fruchtknoten. Serie von 56 Schnitten. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object schneidet sich ausgezeichnet.

Zur Einbettung gelangte die untere Hälfte einer soeben erschlossenen Blüthe. Eine vollständige Serie war nicht beabsichtigt. Die Entnahme von Schnitten fand in Abständen von 0,020 mm statt.

Die ersten Schnitte führen quer durch die ringsum geschlossene, aus massig entwickeltem, sehr lose gefügten Parenchym bestehende Kronröhre und ebenso durch die bereits geöffneten Antheren. In deren Fächern sind durchsichtige gelbe Pollenkörner noch in Menge vorhanden und mit Ausnahme der angeschnittenen, oder, was ebenfalls vorkommt, der unvollkommen ausgebildeten, vollständig intact. Weder an ihnen noch an den Antheren, noch an dem dünnwandigen, grosse intercellulare Räume besitzenden, wasserreichen Parenchym der Kronröhre trat Schrumpfung ein.

Letzteres Gewebe, das übrigens nicht wesentlich von denjenigen der ebenfalls geschnittenen dicken Kronblattzipfel abweicht, wird bei Schnittdicken von 0,015 mm und darunter oft unangenehm durchsichtig. Eine leichte Contraction des Protoplasmas ist nicht immer ausgeschlossen.

Tiefere Schnitte geben instructive und elegante Bilder von der Einmündung der Filamente in die Kronröhre, sowie über den Bau der Narbe, des Fruchtknotens und der Ovula. Hinsichtlich der ebenfalls sehr wichtigen genauen Orientirung der letzteren gilt das bei der Beschreibung der Samenknospen von Cyclamen Gesagte. Die Gewebebeschaffenheit war eine vorzügliche.

Die Endglieder der Serie betreffen den Blüthenboden. Derselbe besteht aus massig entwickeltem, dem Gewebe der Kronröhre ähnlichen Parenchym, in dem ziemlich unregelmässig angeordnet sich zahlreiche, der mechanischen Elemente entbehrende Gefässbündel vorfinden. Eine grössere Regelmässigkeit tritt erst an der Uebergangsstelle des Gewebes in dem dünnen Blüthenstiel, in den die Bündel unter Neigung zu kreisförmiger Anordnung einbiegen, hervor. Ueber den Bau und die Gewebebeschaffenheit dieses Stieles wurde an anderer Stelle das Nöthige gesagt. Die gesammten Gewebe des Blüthenbodens sind vollständig intact.

Dass überall da, wo es darauf ankommt, einen complicirten Gefässbündelverlauf festzustellen, gerade Schnittserien vorzügliche Dienste leisten, möge hier noch erwähnt werden.

Fuchsia hybr.

Junge Früchte quer. Schnittdicke 0,015 mm.

Zur Einbettung gelangten die zu Früchten heranreifenden Fruchtknoten, darunter auch solche, welche in ihrer Entwickelung bereits ziemlich weit vorgeschritten waren. Der Umfang ist dementsprechend schon ein recht bedeutender. Die Schnittfläche des vertical aufgeschmolzenen Objectes betrug ungefähr einen Quadratcentimeter. Nichtsdestoweniger schnitt sich, wie das ja auch bei weichen Pflanzentheilen mit ähnlich grosser Schnittfläche, zum Beispiel dem Blüthenschaft der Hyacinthe, der Fall war, das Object sehr gut. Die grossen Schnitte sind vollständig gleichmässig dünn, sie rollen nicht und lassen sich leicht und ohne Falten zu schlagen dem Objectträger auflegen.

Das Parenchym der stark entwickelten Aussenwand des Fruchtknotens besitzt an äusseren sowohl als an inneren Lagen die normale Beschaffenheit. An den Mittelpartieen dagegen beginnen sich Zellen zu isoliren und zusammenzufallen. Aehnliches fand an centralen Theilen der Placenta statt. Es handelt sich indessen hier nicht um Schrumpfungen, welche durch die Einbettung verursacht wurden, sondern um das Eingehen von Gewebepartieen anlässlich der demnächstigen Fruchtreife.

Am meisten interessiren die sich zu den Samen entwickelnden Ovula. Obwohl sich deren Zellen bereits in einem vorgeschrittenen Entwickelungsstadium befanden, ist weder von einer Schrumpfung noch von einer Contraction des Plasmas etwas zu sehen. Die anatomischen Bilder sind, die richtige Orientirung der Objecte vorausgesetzt, ebenso vorzüglich wie diejenigen der Samenknospen von Zebrina.

Bei der Beurtheilung der Serie hat man allerdings zu berücksichtigen, dass von den Samenanlagen ein nicht unbedeutender Theil überhaupt nicht vollständig ausgebildet zu werden pflegt. An derartig abortirten Gebilden fällt das Gewebe nach und nach zusammen.

War schon in Bezug auf die Samenknospe die Orientirung des Objectes eine oft recht schwierige, so ist dies in noch weit höherem Maasse hinsichtlich der heranreifenden Embryonen der Fall. Bei

ersterer konnte noch, wenn entsprechend vorbereitet, der gesammte Fruchtknoten eingebettet und unter Beobachtung der nöthigen Vorsichtsmaassregeln geschnitten werden.

Ein derartiges Verfahren schliesst nun allerdings nicht aus, dass man unter Umständen auch brauchbare Schnitte durch den Embryo erhält. In unserem Falle lagen sogar mehrere solche, an denen sich unschwer feststellen liess, dass das embryonale Gewebe in vorzüglichem Zustand erhalten bleibt, vor. Indessen ist das Sache des Zufalls. Auf ihn darf man sich aber bei einer zielbewussten Untersuchung nicht verlassen, man hat planmässig vorzugehen. Das kann, und es wird hierauf noch zurückzukommen sein, nur geschehen, wenn man die heranreifenden Samenknospen einzeln einbettet und unter Berücksichtigung der Lage des Embryo orientirt und schneidet.

Bei der Einbettung der Fruchtknoten jüngerer oder älterer Blüthen und ganz besonders bei denjenigen der heranreifenden Frucht empfiehlt es sich, entweder ein Theilstück zu verwenden oder das einzulegende Object an der Basis anzuschneiden, bevor man es in Alkohol bringt. Zwischen den Samenknospen, und in den Leitungswegen des Pollenschlauches überhaupt, ist meistens ein grösseres Quantum von Luft vorhanden. Aus dem unverletzten geschlossenen Fruchtknoten lässt sich dieselbe nur schwer austreiben, es muss das aber geschehen, wenn die Einbettung gelingen soll.

In allen den oben beschriebenen Fällen vollzog sich unter Beobachtung derartiger Vorsichtsmaassregeln die Durchtränkung mit Paraffin leicht und vollständig.

VII. Endosperm, Embryonen.

Ricinus communis L.

Endosperm quer. Schnittdicke 0,020, 0,015, 0,010 mm.

Die Durchtränkung des Objectes mit Paraffin war auch hier eine vollkommene. Ersteres schnitt sich ebenfalls vorzüglich. Der Aleuronkörner und ihrer Inhalte wegen wurde nach der Uebertragung der Schnitte aus Alkohol in Wasser die Behandlung mit diesem möglichst schnell durchgeführt.

Die Präparate waren Muster von Güte und Eleganz.

An Schnitten aus freier Hand ist der grössere Theil des Gewebes gewöhnlich so dicht mit Aleuronkörnern erfüllt, dass diese sich gegenseitig decken, die Untersuchung somit sehr erschweren. Zu letzterer eignen sich meistens nur kleine Stellen der Präparate, an denen der Inhalt der Zellen zum grössten Theil herausgeschwemmt wurde, oder die ausgeschwemmten Körner selbst.

Anders verhält es sich mit den aus dem eingebetteten Material gewonnenen Schnitten. Dieselben sind überall gleichmässig dünn, so dünn, dass die auf jede Zelle entfallenden Inhaltsbestandtheile nur eine einfache, optisch leicht durchdringbare Schicht bilden, welche auch die Beobachtung der Zellwände nicht im Mindesten hindert.

Auf eine Zelle kommen gewöhnlich 3—7 Aleuronkörner. An jedem von ihnen tritt mit grosser Schärfe eine Membran, das oder die Krystalloide und das Globoid hervor. Wie es scheint, wird hieran auch durch die Aufbewahrung in der wasserhaltigen Glyceringelatine nichts geändert. Wenigstens ist dies bis jetzt, vier Wochen nach dem Einschliessen der Präparate in Gelatine, nicht der Fall.

Bei der Benutzung von Canadabalsam als Einschlussmittel hat man die Schnitte zuvor zu färben. Andernfalls werden sie unangenehm durchsichtig und zum Studium der Einzelheiten zum Theil unbrauchbar.

Die äussersten Endospermlagen enthalten wenig oder keine Aleuronkörner. Dafür ist ein dichtes, äusserst kleine Körnchen und Stäbchen führendes Protoplasma vorhanden. Dasselbe tritt in dem Maasse zurück, als die Füllung mit Aleuronkörnern Fortschritte macht. An inneren Endospermpartieen bemerkt man von dem Plasma und den genannten Einschlüssen nur noch wenig. Vollständig verschwunden sind beide indessen auch hier nicht.

Rhinanthus minor Ehrh.

Endosperm und Embryo quer. Schnittdicke 0,015 mm.

Von den halbreifen oder nahezu reifen Samen wurde, was sich leicht ausführen lässt, die junge Testa mit der Präparirnadel entfernt. Der zurückbleibende Endospermkörper besitzt etwa die Gestalt

einer stark abgeflachten Birne. Die Einbettung gelang vollkommen. Das Object schneidet sich ausgezeichnet.

Schnitte, welche an nicht eingebettetem, aus freier Hand bearbeitetem Material hergestellt worden waren, ergaben, dass die Lage des Embryo im Embryosack eine ziemlich constante ist, dass die Längsachse meist mit derjenigen des Endosperms parallel läuft. Die Orientirung des eingebetteten Objectes erfolgte dementsprechend. Dasselbe wurde vertical, die Spitze der Birne nach oben, dem Paraffinblock aufgeschmolzen.

Die ersten Schnitte treffen ausschliesslich das Endosperm, sie zeigen es als geschlossenes Gewebe. Sehr bald tritt indessen eine centrale Höhle, welche zunächst die Ueberreste der Sexualzellen und dann den Vorkeim enthält, hervor. Wir nähern uns der Wurzelspitze des Embryo, von der einer der nächsten Schnitte eine die Hypophyse enthaltende Kuppe abhebt.

Die Güte eines derartigen Präparates hängt ganz davon ab, ob der Embryo in dem betreffenden Fall genau die Längslage einhielt. Das lässt sich jetzt an der Schnittfläche des Paraffinstückchens beurtheilen. Durch diese scheint das in Folge seiner Gelbfärbung sich scharf von der Einschmelzmasse abhebende Object gut durch. Man unterscheidet einen von dem Endosperm gebildeten Hohlcylinder und eine kleine cylindrische, central gestellte Achse, die junge Wurzel. An den Umrissen beider kann man erkennen, ob die Schnitte gerade oder schräg führen. Ist letzteres der Fall, und man hat in dieser Hinsicht ausschliesslich die embryonale Wurzel zu berücksichtigen, so muss die Orientirung entsprechend geändert werden.

Dies erfordert, wenn keine oder nur möglichst wenige Schnitte verloren gehen sollen, schon Uebung und ein Vertrautsein mit dem Mikrotom und seinen mechanischen Hülfsmitteln. Eine derartig nachträgliche Orientirung lässt sich indessen wesentlich leichter ausführen, als diejenige bei Längsschnitten durch den Embryo.

Einmal richtig eingestellt kann der letztere mit Leichtigkeit von der Wurzelspitze bis zum Scheitel in gleichmässig dünne Scheiben zerlegt werden.

In unserem Falle war eine so eingehende Untersuchung nicht

beabsichtigt. Die Entnahme von Schnitten fand in Abständen von ungefähr 0,10 mm statt.

Auch durch das Endosperm gingen die Schnitte genau quer.

Letzteres befand sich, wie dasjenige von Ricinus, in durchaus gutem Zustand. Nicht eine Spur von Schrumpfung oder von Contraction des Protoplasmas lässt sich wahrnehmen. Das fette Oel, das ziemlich reichlich vorhanden war, wurde durch die bei Behandlung des Objectes und der Schnitte verwendeten Flüssigkeiten vollständig weggenommen. Die zurückbleibende, ziemlich dichte plasmatische Grundsubstanz zeigt häufig ein maschen- oder schwammartiges Gefüge und enthält nicht selten äusserst kleine, körnchen- bis stäbchenförmige Einschlüsse.

Aehnliches gilt auch von dem Embryo. Die Schnitte von ihm sind geradezu mustergültig. Trotzdem jede Zelle noch ihren, wie es scheint, im früheren Zustand befindlichen Inhalt besitzt, an dem besonders die grossen Zellkerne prachtvoll hervortreten, erweisen sich die Präparate an jeder Stelle als gut durchsichtig. Sie geben ein instructives und elegantes Bild von der ersten Gewebedifferenzirung des jungen pflanzlichen Individuums.

Ebenso schön lässt sich aber auch dessen erste morphologische Gliederung studiren. Wurzel, Stamm, Stammknospe und Cotyledonen sind, insoweit das überhaupt an Querschnitten möglich ist, in Bezug auf Gestaltung, Lage und Grössenverhältnisse leicht zu verfolgen. Ganz besonders wird dies dadurch erleichtert, dass die durchschnittenen Glieder fixirt, die gegenseitigen Stellungsverhältnisse mithin genau gewahrt bleiben.

Die letzten Schnitte der Serie sind Querschnitte durch die gegenständigen Cotyledonen. Von diesen zeigen die vorletzten Schnitte die Mittelpartieen, an denen bereits eine Differenzirung in jugendliches Parenchym und in Procambium eintrat. Fernere Glieder der Serie geben basale Schnitte durch die Cotyledonen, welche die sehr kleine Stammknospe, von der zunächst die Scheitelkuppe abgehoben wird, umfassen. Es folgen dann Präparate, die zuerst die Zellanordnung der Stammknospe und dann die Einmündung der Cotyledonen in den embryonalen Stamm zeigen. Den Schluss machen Wurzelschnitte. Auch hier ist bereits ein centraler, aussen mit einer

bereits deutlich sich abhebenden Scheide versehener Procambiumstrang vorhanden.

Dass Schnitte aus freier Hand die hier angedeuteten Verhältnisse auch nicht annähernd so vollständig geben können, braucht kaum erwähnt zu werden. Erst durch die Paraffineinbettung wird das Object in ausgedehntestem Maasse der Untersuchung erschlossen.

Rhinanthus minor Ehrh.

Endosperm und Embryo längs. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object war ebenfalls vollständig von Paraffin durchdrungen, es schneidet sich ausgezeichnet.

Aus dem vorstehend Mitgetheilten geht bereits hervor, dass die anatomischen und morphologischen Details einer Ergänzung durch Längsschnitte bedürfen. Die Hauptaufmerksamkeit richtet sich dabei auf die embryonalen Vegetationspunkte der Wurzel und des Stammes.

Gelegentlich der Herstellung von Präparaten derartiger Vegetationspunkte von erwachsenen Pflanzen wurde bereits erwähnt, dass die Orientirung der Objecte wesentlich schwieriger ist als bei Querschnitten. Während hier geringe Ungenauigkeiten noch verhältnissmässig wenig schaden, führen sie dort bereits zu schiefen und meist unbrauchbaren Schnitten. Gerade die in Längsreihen angeordneten kleinen Zellen sind in Bezug auf die geringste Richtungsabweichung sehr empfindlich.

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass das Object so orientirt werden muss, dass seine Längsachse, in diesem Falle also diejenige des Embryo, genau parallel mit der planen Unterseite des Messers des Mikrotoms verläuft. Eine grobe derartige Orientirung findet bereits durch das horizontale Aufschmelzen des birnförmigen Endosperms auf dem Paraffinblock statt. Die feine dagegen kann erst nach dem Anschneiden des Objectes vorgenommen werden.

Dasselbe scheint, wie bereits erwähnt wurde, seiner gelben Färbung wegen besonders gut an der Schnittfläche durch. Ist mit dem Schneiden die von dem Embryosack gebildete Höhlung erreicht und von dem Embryo, speciell seinen etwas vorstehenden, zuerst an die Reihe kommenden Cotyledonen, ein kleines Stück abgenommen,

so lässt sich, besonders im Hinblick auf die Umrisse der letzteren, die Lage des Keimlings ziemlich genau beurtheilen. Die feine Einstellung wird dementsprechend ausgeführt.

Selbst von einer gelungenen Schnittserie ist nun nicht zu erwarten, dass einer und derselbe Schnitt die Vegetationspunkte der Wurzel und des Stammes genau median trifft. Beide liegen meistens nicht vollständig genau in derselben Ebene. Ihre medianen Schnitte werden somit auf verschiedene Glieder der Serie vertheilt sein. In unserem Falle lieferte die Wurzelspitze die schönsten Schnitte. Die Zellanordnung und besonders der Abschluss des Organs durch die Hypophyse trat ebenso elegant als instructiv hervor.

Hinsichtlich der Zellinhalte sind die Präparate ebenso vorzüglich wie diejenigen der Querschnittserie.

Die hier zur Untersuchung gelangenden Embryonen waren in ihrer Entwickelung schon ziemlich weit vorgeschritten. Jüngere Keimlinge, beispielsweise diejenigen, welche noch die Kugelgestalt besitzen, lassen sich nicht genau orientiren. Für eine feinere Einstellung fehlt jeder Anhaltspunkt. Da nun auch hier schräge Schnitte sehr schwer zu enträthselnde Bilder abgeben, so empfiehlt es sich, für die Präparirung entweder die älteren Verfahren beizubehalten und etwa unter Anwendung von Kalilauge den Keimling zwischen Deckglas und Objectträger auszuquetschen, oder, und das führt vielleicht noch sicherer zum Ziel, das eingebettete Material so zu schneiden, dass der Embryo selbst vom Schnitte nicht getroffen wird.

Letzteres kann geschehen, wenn man aus der horizontal orientirten Samenknospe oder dem von der Testa befreiten jungen Endosperm eine dicke Scheibe, diejenige, welche den unverletzten Embryo enthält, herausschneidet. Das setzt voraus, dass die Stelle, an der sich dieser befindet, genau bekannt ist. Deren Ermittelung macht indessen bei der Benutzung der mechanischen Hülfsmittel des Mikrotoms, beispielsweise des Nonius an der Mittelschiene des Instrumentes und der Theilung der Mikrometerschraube, keine Schwierigkeiten. Beide sind zugleich Messapparate, deren man sich bedienen kann, um genau festzustellen, wieviel Millimeter diese oder jene

bereits deutlich sich abhebenden Scheide versehener Procambiumstrang vorhanden.

Dass Schnitte aus freier Hand die hier angedeuteten Verhältnisse auch nicht annähernd so vollständig geben können, braucht kaum erwähnt zu werden. Erst durch die Paraffineinbettung wird das Object in ausgedehntestem Maasse der Untersuchung erschlossen.

Rhinanthus minor Ehrh.

Endosperm und Embryo längs. Schnittdicke 0,015 mm. Das Object war ebenfalls vollständig von Paraffin durchdrungen, es schneidet sich ausgezeichnet.

Aus dem vorstehend Mitgetheilten geht bereits hervor, dass die anatomischen und morphologischen Details einer Ergänzung durch Längsschnitte bedürfen. Die Hauptaufmerksamkeit richtet sich dabei auf die embryonalen Vegetationspunkte der Wurzel und des Stammes.

Gelegentlich der Herstellung von Präparaten derartiger Vegetationspunkte von erwachsenen Pflanzen wurde bereits erwähnt, dass die Orientirung der Objecte wesentlich schwieriger ist als bei Querschnitten. Während hier geringe Ungenauigkeiten noch verhältnissmässig wenig schaden, führen sie dort bereits zu schiefen und meist unbrauchbaren Schnitten. Gerade die in Längsreihen angeordneten kleinen Zellen sind in Bezug auf die geringste Richtungsabweichung sehr empfindlich.

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass das Object so orientirt werden muss, dass seine Längsachse, in diesem Falle also diejenige des Embryo, genau parallel mit der planen Unterseite des Messers des Mikrotoms verläuft. Eine grobe derartige Orientirung findet bereits durch das horizontale Aufschmelzen des birnförmigen Endosperms auf dem Paraffinblock statt. Die feine dagegen kann erst nach dem Anschneiden des Objectes vorgenommen werden.

Dasselbe scheint, wie bereits erwähnt wurde, seiner gelben Färbung wegen besonders gut an der Schnittfläche durch. Ist mit dem Schneiden die von dem Embryosack gebildete Höhlung erreicht und von dem Embryo, speciell seinen etwas vorstehenden, zuerst an die Reihe kommenden Cotyledonen, ein kleines Stück abgenommen,

schiebungen dieser Wände. Die Präparate gleichen den von frischen Pflanzen entnommenen.

In letzterer Hinsicht machen nur diejenigen Pflanzentheile eine Ausnahme, welche unter Einwirkung des Alkohols mehr oder minder stark gefärbt werden. Wie wir bei den Stammvegetationspunkten von Strobilanthes sahen — und ebenso verhält es sich bei nahezu schwarz werdenden Wurzeln und Haustorien von Lathraea —, beeinträchtigt, wenigstens an dünnen Schnitten, die Färbung das Studium dieser Theile nicht wesentlich.

Die Schnittdicke schwankt zwischen 0,015 und 0,010 Millimetern. Vegetationspunkte des Stammes erfordern, der kleinen Zellen halber, die dünnsten Schnitte. Unter 0,010 mm erhält man keine zusammenhängenden Schnitte mehr.

Dass nach den seitherigen Präparirmethoden auch nur annähernd so dünne Schnitte, welche die aufhellenden Reagentien vollständig entbehrlich machen, nicht hergestellt werden können, braucht kaum erwähnt zu werden. Ein fernerer Vorzug der Einbettung ist die unbedingte Sicherheit des Schneidens. Ausserdem hat man hoch anzuschlagen, dass mit Leichtigkeit das gesammte Object in aneinander lückenlos anschliessende Scheiben zerlegt werden kann, wobei weder Inhaltsbestandtheile der Zellen noch durchschnittene seitliche Glieder des jungen Organs verloren gehen. Von letzteren werden selbst die kleinsten fixirt, behalten somit ihre Stellung zur Mutterachse genau bei.

Ebenfalls ausgezeichnete Resultate waren hinsichtlich der weicheren der ausgebildeten Laubblätter zu verzeichnen. Obwohl deren Gewebe das embryonale Stadium bereits überschritten haben und zum Theil schon festere Zellwände, unter Umständen sogar eine recht dicke Aussenwandung besitzen, eignen sie sich doch vorzüglich zur Einbettung. Auch das Protoplasma ist nicht mehr so dicht wie dasjenige der Vegetationspunkte, es scheint aber, und dafür spricht ja auch der hier stattfindende rege Stoffwechsel, noch in genügender Masse vorhanden zu sein, um die Diffusion der Paraffinlösung und schliesslich die vollständige Ausfüllung mit Paraffin leicht und ohne Gewebeschrumpfung zu gestatten. Die Anwendung der lauwarm gesättigten Lösung von Paraffin in Chloroform war meistens nicht einmal erforderlich. Allerdings durfte nicht das gesammte

Blatt, sondern von ihm nur ein kleiner Ausschnitt verwendet werden.

Als kleine Mängel sind die hier und da auftretenden leichten Contractionen des Protoplasmas zu bezeichnen. Sie beeinträchtigen indessen die Güte des anatomischen Bildes nicht wesentlich und lassen sich grösstentheils auch durch vorsichtige Anwendung des Alkohols — man hat bei dem Einlegen des Objectes mit den niedersten Concentrationsgraden zu beginnen — verhindern.

Gegenüber Schnitten aus freier Hand liegt der Hauptvorzug einestheils in der Herstellung so gleichmässig dünner Präparate überhaupt und anderntheils darin, dass grössere Schnitte, unter Umständen sogar solche durch das ganze Blatt genommen werden können, dieses also der Beobachtung in ausgedehnterem Maasse zugänglich ist. Dies kommt besonders in Betracht, wenn es sich um Fragen über den feineren Bau und die Endigungen der Gefässbündel u. s. w. handelt.

Ferner leistet die Einbettung vorzügliche Dienste bei der Untersuchung von Neubildungen an und auf den Blättern, beispielsweise solchen, die, wie bei den Begonien, mit der ungeschlechtlichen Vermehrung zusammenhängen. Auch die verschiedenen, die Einbettung sehr gut vertragenden Haare müssen hier erwähnt werden.

In Bezug auf den Härtegrad der Zellwände und dessen Verhältniss zum Paraffin gilt das für die Vegetationspunkte Gesagte.

Die für die Beobachtung geeignete Schnittdicke endlich ist eine von Fall zu Fall wechselnde. Sie schwankt je nach der Grosszelligkeit des Blattes oder einzelner besonders interessirender Gewebe zwischen 0,030 und 0,005 mm.

Ebenfalls in hohem Grade befriedigend sind die Ergebnisse der Untersuchung aller derjenigen Pflanzentheile, welche sich entweder im Stadium der Zellstreckung und der beginnenden inneren Ausbildung befinden oder dauernd ein weiches Gefüge beibehalten. Von den holzigen Gewächsen gehören alle ziemlich dicht unter den Vegetationspunkten des Stammes und der Wurzel genommenen Stücke hierher, ferner die meisten Blüthenstiele, die Kelch- und Kronblätter, die Filamente und die Fruchtknotenwandungen, sowie Theile der heranreifenden Früchte etc. Von den krautigen, also weichen Pflanzen kommen hierzu noch

ältere Stämmchen und Wurzeln, sowie zu Reservestoffbehältern ausgebildete Organe.

Ihnen allen ist gemeinsam, dass sie zumeist aus Geweben bestehen, welche über das embryonale Stadium mehr oder minder weit hinaus sind. Immerhin müssen, vielleicht mit Ausnahme der Aussenwandungen, die Zellwände im Grossen und Ganzen noch als dünn bezeichnet werden. Die Zellinhalte erweisen sich schon als sehr wasserreich, es liegt bereits die Gefahr nahe, dass Gewebeschrumpfungen auftreten.

Deren Erklärung kann das Verhalten der Blätter von Bromelia und Hohenbergia zu Grunde gelegt werden. Wir sahen bereits, dass dort die eine Blattseite aus von dickwandigen Aussenzellen umgebenem Wassergewebe besteht. Beim Einbringen in Chloroform-Paraffin ist hier eine durch die dünnen Membranen der grossen Zellen gehaltene Schicht aus reinem Chloroform vorhanden, die nicht, wie das der Fall sein sollte, allmählich nach aussen diffundirt und durch die mehr und mehr concentrirte Paraffinlösung und endlich durch reines Paraffin ersetzt wird, sondern bei eintretender Erwärmung in Gasform an den Schnittflächen des Objectes austritt. Ein Zusammenfallen der betreffenden Zellen wird unvermeidlich.

Anders verhält sich embryonales Gewebe. In dessen dichtes Plasma tritt, wofür ja auch die Erhaltung der Structur desselben spricht, das Chloroform an Stelle des durch den Alkohol verdrängten Wassers. In feinster Zertheilung dürfte es zwischen und in den Molekulargruppen des Plasmas vorhanden sein und in Folge dessen bei eintretender Erwärmung weniger leicht in Gasform austreten, als das beim Wassergewebe, dessen grosse und dünnwandige Zellwände fast ausschliesslich die Chloroformschicht halten, der Fall ist. Wird das Austreten in Gasform verhindert, so kann die Diffusion, auf die es vor Allem ankommt, ungestört vor sich gehen; die Durchtränkung mit Paraffin wird eine vollkommene.

Zwischen diesen extremen Fällen stehen nun diejenigen, mit denen wir uns hier zu beschäftigen haben. Quantitativ die meisten Zellen der zusammengestellten Pflanzentheile enthalten zwar nicht, wie diejenigen der subepidermalen Schichten der genannten Blätter, fast ausschliesslich Wasser, ihr wandständiges Plasma ist aber, wie beispielsweise dasjenige des Parenchyms der Rinde in Stamm und

Wurzel oder an Blüthentheilen, ein oft verschwindend geringes. Die Einbettung muss deshalb mit aller Vorsicht vorgenommen werden. Man hat die Objecte in eine lauwarm gehaltene Paraffinlösung zu bringen und diese zur Verhinderung des gasförmigen Entweichens der in dem Pflanzentheil enthaltenen Chloroformmenge einige Zeit auf einer Temperatur von etwa 35 ° C. zu halten.

Dieses Verfahren war fast immer von Erfolg. Unsicherheiten in den Resultaten zeigten sich nur hinsichtlich des Rindenparenchyms einiger Wurzeln. Während dieses Gewebe bei Zea Mays vollständig intact blieb, konnten bei gleich jugendlichen Wurzeltheilen von Hyacinthus — das Material stammte ebenfalls von Wasserculturen — Schrumpfungen festgestellt werden. Von solchen nicht ganz frei erwies sich auch das Wurzelparenchym von Iris und Chlorophytum. Möglicherweise spielt hier auch der Alkohol, demgegenüber gerade die Wurzeln sehr empfindlich sind, eine Rolle. Jedenfalls ist es angezeigt, denselben sehr langsam, etwa durch Diffusion — man hat ja hierfür jetzt eigens construirte Apparate — auf das einzulegende empfindliche Object einwirken zu lassen.

Diesen wenigen Fällen eines geringen Misserfolges, der sich zudem nur auf ein Gewebe erstreckt, das für das Studium nur noch wenig Bedeutung hat, stehen die völlig gelungenen Einbettungen gegenüber. Insoweit sie sich auf Wurzeln beziehen, sei hier nur an Scorzonera, Sonchus, Dahlia erinnert. Noch wasserreicher als das hier vorhandene Rinden- und sonstige Parenchym sind Gewebe des Stammes von Hyacinthus, Begonia, Cyclamen, Hippuris, Zebrina und Impatiens u. s. w., und sie erfahren dessenungeachtet keine Schrumpfung, zum wenigsten nicht, wenn die Objecte auf die angegebene Weise eingebettet werden. Mit den untersuchten Blüthentheilen, zum Beispiel den Kronblättern und den Filamenten der Hyacinthenblüthe sowie deren Blüthenstiel, verhielt es sich ähnlich.

Wie bei den Blättern, so ist auch hier die für die Präparate geeignete Schnittdicke eine sehr verschiedene. Bei vorwiegend grosszelligem Gewebe schwankt sie zwischen 0,020—0,030, bei kleinzelligem zwischen 0,010—0,020 Millimetern.

An der Hand von Schnittserien durch jugendliche Stammtheile lässt sich deren innerer Aufbau bis in alle Einzelheiten verfolgen. Wir sehen, wie im Zusammenhang mit den Blatt- und Spross-

anlagen sich die Procambiumstränge in dem zuvor gleichmässigen, in allen Details hervortretenden Grundgewebe entwickeln. Da schon in Folge der Präparirung auf dem Objectträger ein Schnitt wie der andere liegt, so ist der Ort der Entstehung und der Verlauf eines jeden derartigen Stranges leicht festzustellen. Complicirte, die Vereinigung der Stränge betreffende Bilder, wie solche in den Knoten mancher Stammtheile vorhanden sind, lassen sich, da hier ja auch nicht ein Schnitt ausfällt, unschwer lösen.

Die übereinstimmende Lage der Einzelschnitte der Serie erleichtert aber auch die Beobachtung der Entwickelung der Gefässbündel. Da mit Sicherheit ein und derselbe Strang auf weitere Strecken in dem Stamme verfolgt werden kann, so bemerkt man jede in ihm eingetretene Veränderung; es entgeht nicht leicht eines der hinzukommenden neuen Elemente der Aufmerksamkeit des Beobachters. Ferner lässt sich unter Benutzung der Theilungsvorrichtungen des Mikrotoms feststellen, an welcher Stelle des Stammes diese oder jene Gewebeumbildung stattfindet. Die Leichtigkeit, mit welcher derartige Messungen ausgeführt werden können, ist für manche Untersuchungen nicht ohne Werth.

Was für den ersten Aufbau des Gefässbündels gesagt wurde, gilt auch für das cambiale Dickenwachsthum. Die Entstehung eines die Einzelbündel verbindenden Cambiumringes gelangt in den anatomischen Bildern ebenso instructiv wie elegant zum Ausdruck. Die secundären Zuwachse können meist Zelle für Zelle auf ihren Entstehungsort, das Cambium, zurückgeführt werden. Insoweit sie durch besondere Verdickung ausgezeichnet sind, heben sie sich scharf aus dem Gesammtbild hervor.

Die aussergewöhnlich dünnen Schnitte lassen die Aufhellungsmittel vollständig entbehrlich erscheinen. Die in dieser Hinsicht sonst so beliebte Kalilauge kommt in Wegfall. Die Präparate werden, da sie die ursprünglichen Verhältnisse geben, weitaus genauer.

Von praktischer Bedeutung ist das überall da, wo es sich um Stoffniederlage oder um Stoffverbrauch handelt. Beispielsweise lässt sich in den Organen, welche zu Reservestoffbehältern umgebildet werden, oder in Geweben, die local und vorübergehend zu ähnlichen

Zwecken Benutzung finden, das Auftreten der Stärke auf's Schönste beobachten. Der umgekehrte Vorgang, die Lösung zu Verbrauchszwecken, kann ebenso leicht verfolgt werden. Auf's Instructivste tritt er hervor, wenn die Verbrauchsstelle, gewöhnlich eine Neubildung, noch in der Nähe und von den Schnitten der Serie getroffen ist.

Aus ähnlichen Gründen machen sich auch die der Stoffleitung dienenden Gewebe sofort bemerkbar.

Die seither zusammengestellten Pflanzentheile — es sind das diejenigen, welche entwickelungsgeschichtlich das meiste Interesse bieten uud für histologische Untersuchungen zumeist in Betracht kommen — zeichnen sich durch geringe Härte aus. Ihr Härtegrad liegt wesentlich unter demjenigen des Paraffins. Damit entspricht dieses der ersten an eine gute Einschmelzmasse zu stellenden Anforderung. Vollständige Serien lassen sich mit Leichtigkeit, und ohne dass auch nur ein Schnitt ausfällt oder Gewebe zerrissen und verschoben wird, anfertigen.

Hiermit haben Zerreissungen nichts zu thun, welche in Folge des Ueberschreitens des von Fall zu Fall verschiedenen Minimums der Schnittdicke stattfinden. Bei der immerhin differirenden Festigkeit einzelner Gewebe eines und desselben Objectes muss es natürlich eine Grenze geben, unter der man zusammenhängende Schnitte nicht mehr erhält. Ueberschreitet man sie, so findet man, dass es zunächst die parenchymatischen Gewebe sind, welche als die grosszelligeren und weicheren ausreissen und mehr und mehr in Wegfall gerathen. Das anatomische Bild giebt uns noch die dementsprechend mehr oder minder isolirten, kleinzelligeren und massiveren Gefässbündel. Geht man weiter, so kommen auch sie an die Reihe. Dass in Bezug auf das Gefässbündel selbst unvollkommene Schnitte noch hinsichtlich einzelner Details der Gewebe gute Dienste leisten, wurde schon erwähnt.

Die Schnittfläche kann bei so weichen Objecten wie die meisten der seither betrachteten ziemlich gross genommen werden. Unter Anwendung des mittelgrossen Modells des Mikrotoms und der kleinsten Messer sind Schnitte von einem Quadratcentimeter zu erzielen. Sie fallen auch bei dünnem Schneiden vollständig gleichmässig aus.

Sollten, was wohl selten vorkommen dürfte, noch grössere Schnittflächen gewünscht werden, so hat man sich des grossen Modells des Mikrotoms zu bedienen und zu grösseren Messern zu greifen.

In einer letzten Gruppe lassen sich endlich diejenigen Pflanzentheile unterbringen, deren Gewebe ganz oder zum Theil härter sind als die Einschmelzmasse. Die grössere Festigkeit ist entweder von vornherein vorhanden, oder sie wird erst durch die bei der Einbettung verwandten wasserentziehenden Mittel veranlasst. In letzterem Fall können die Gewebe ziemlich dünnwandig sein, in ersterem sind sie meist stark verdickt.

Veranlasst, wie das für die Epidermiszellen der Blätter von Zebrina und Cyperus und unter Umständen auch für das Parenchym der Stämmchen von Selaginella u. a. zutrifft, der Alkohol den grösseren Härtegrad, so werden die Zellwände durch den von dem Messer bei dem Schneiden ausgeübten Druck leicht verschoben. Die Gefahr liegt um so näher, je grösser und dünnwandiger die betreffenden Zellen sind. Beides trifft besonders bei den erstgenannten Pflanzen zu, die Verschiebungen waren indessen verhältnissmässig nur unbedeutende. Sie beeinträchtigen zwar die Eleganz, keineswegs aber die Brauchbarkeit der Präparate. Vollständige Serien lassen sich an derartigem Material noch schneiden.

Schlimmer liegen die Verhältnisse, wenn, was ebenfalls vorkommen kann, die Zellwände unter dem Einfluss der wasserentziehenden Mittel sehr spröde werden und in Folge des Messerdruckes mehr oder minder leicht brechen. Betrifft dies Objecte, die, wie bei dem wasserreichen Gewebe der Kartoffelknolle, fast ausschliesslich parenchymatischer Natur sind, so zerknittern häufig unter massenhaftem Brechen der Zellen die Schnitte. Nicht zu dünnes Schneiden und die Anwendung von tadellos scharfen Messern helfen hier noch am meisten.

Häufiger als bei parenchymatischen Pflanzentheilen tritt Brüchigkeit bei solchen auf, welche, wie beispielsweise die Stammtheile der Bryonia, die Wurzeln von Iris und die Blätter von Phoenix, besser mit mechanischen Zellformen ausgerüstet wurden. Das Abreissen der festeren Gewebe von den weicheren oder das Auseinanderbrechen

stark verdickter Zellgruppen gehört dann keineswegs zu den Seltenheiten. Bei Iris reisst sogar, wenn man nicht sehr sorgfältig verfährt, das gesammte centrale Gefässbündel unter starkem Aufrollen aus seiner Rinde. Ferner lösen sich ziemlich allgemein bei dem Ansetzen des Messers an dem Object die entstehenden Schnitte gern von dem Paraffin los. Starke Neigung zum Aufrollen ist auch hier vorhanden, Unannehmlichkeiten, denen mit der Präparirnadel nicht immer mit Erfolg begegnet werden kann, und die dazu führen, dass vollständige Schnittserien sich kaum mehr herstellen lassen.

Dass sich die Präparate hinsichtlich ihrer Güte ganz verschieden verhalten werden, geht schon aus dem Gesagten hervor. Die Schädigung braucht keineswegs eine sehr bedeutende zu sein. Sahen wir doch, dass das anatomische Bild bei Bryonia trotz des Bruches der Aussenscheide noch ein sehr gutes, in Bezug auf die Gefässbündel sogar vorzügliches genannt werden musste. Auch von der Wurzel von Iris gilt, wenigstens insoweit das centrale Gefässbündel in Betracht kommt, Aehnliches.

Alle die erwähnten, durch grosse Härte oder durch Sprödigkeit der Zellwände veranlassten Fehler würden sich vermeiden lassen, wenn es gelänge, eine derartigen Objecten hinsichtlich des Härtegrades überlegene Einschmelzmasse zu finden. Hierauf wurde bereits ein härteres Paraffin — es hatte seinen Schmelzpunkt bei 74 ° C. — geprüft. Dasselbe schnitt sich aber so schlecht, dass von seiner Verwendung sofort abgesehen werden musste. Gemische eines derartigen Paraffins mit solchem von niederem Schmelzpunkt schnitten sich zwar besser, die Objecte vertragen aber die immerhin nicht unbedeutende Temperaturerhöhung nicht, welche selbst dieses Gemisch erfordert. Anstatt zusammenhängender Schnitte erhält man ein pulvriges Gemenge von Membranen und Inhaltsbestandtheilen der Zellen.

Vielleicht leistet, was noch zu untersuchen wäre, das Celloidin hier gute Dienste.

Behalten unter der Einwirkung der wasserentziehenden Mittel die Objecte und, was hier besonders interessirt, deren mechanisch wirksame Zellen ihre natürliche Beschaffenheit bei, so sind sie in Folge ihrer Festigkeit an sich schon dem bei dem Schneiden von

dem Messer ausgeübten Druck gewachsen, es haben Härteunterschiede zwischen ihnen und dem Paraffin weniger zu sagen.

Die Gefahr, dass weiche Gewebe von den festeren losreissen, ist dann eine geringe. Haben wir doch gesehen, dass an den Blättern von Phormium tenax, in welchen Zellen von der allerverschiedensten Festigkeit zusammengestellt sind, Verletzungen nur in den Sklerenchymsträngen selbst vorkommen. Die zwischen den Gefässbündeln liegenden wasserhaltigen Gewebecomplexe, deren Zellwände an Zartheit gar nicht übertroffen werden können, blieben mit ihrem festeren Nachbargewebe in unverletztem Zusammenhang. Aehnlich verhielt es sich mit dem Rhizom der Gramineen, in deren festen Holzring die zarten Saugorgane von Rhinanthus eingeschaltet waren. Hier konnten sogar noch mit Leichtigkeit vollständige Schnittserien angefertigt werden.

Es ist fast überflüssig noch darauf hinzuweisen, dass gerade bei parasitisch miteinander verbundenen Pflanzen die Paraffineinbettung besonders gute Dienste leistet. Das gegenseitige Verhältniss beider bleibt vollständig gewahrt, während es beim Schneiden aus freier Hand nur allzu leicht ganz oder theilweise gelöst wird. Geradezu unentbehrlich muss die Einbettung aber für eine grosse Zahl von Saprophyten bezeichnet werden. Die in Zersetzung begriffenen organischen Reste sind an den Saugzellen fixirt. Ein Verschieben oder Wegschwemmen dieser Reste, das bei den alten Präparationsmethoden unvermeidlich wäre, ist somit ausgeschlossen.

Dass es im Hinblick auf die Festigkeit der Pflanzentheile eine Grenze giebt, über die hinaus ein Schneiden des eingebetteten Materials zur Unmöglichkeit wird, liegt auf der Hand. Sie ist indessen, wie die mit einem aus ziemlich massiven und stark verdickten Faserzellen zusammengesetzten Ring versehenen Rhizome der Gramineen und die allerdings bereits auf dieser Grenze stehenden, dafür aber auch ausserordentlich festen Blätter von Phormium tenax lehren, ziemlich weit gezogen.

Nahe der Grenze, die sich an der Hand des eingehend beschriebenen Untersuchungsmaterials ja unschwer für den gegebenen Fall feststellen lässt, macht das Schneiden der Objecte Schwierigkeiten. Starkes Rollen der Schnitte, sei es mit oder ohne Ausreissen

aus dem Paraffin, verhindert zumeist die Herstellung vollständiger Serien.

Für die letzteren liegt ein besonderes Bedürfniss allerdings auch kaum vor. Blätter, die ihren inneren Ausbau der Hauptsache nach bereits abgeschlossen haben und somit nur in Bezug auf die fertigen Verhältnisse interessiren können, lassen sich an Einzelschnitten zur Genüge studiren. Aehnliches gilt von monocotylen Stamm- und Wurzeltheilen, welche über die ersten Entwickelungsstadien hinaus sind. Dicotyle Stämmchen und Wurzeln desselben Alters dagegen erfordern, des cambialen Dickenwachsthums halber, nicht selten mehrere aneinander anschliessende Schnitte. Zwischen solchen und einer vollständigen Serie ist aber noch ein grosser Unterschied, sie sind bei einiger Sorgfalt auch noch an schwieriger schneidbarem Material herzustellen. Ein grösserer oder geringerer Ausfall von Schnitten hat hier nichts zu sagen, er wird manchmal sogar beabsichtigt. Sahen wir doch, dass selbst an Objecten, welche sich sehr gut schneiden lassen, zur Vermeidung eines zu grossen Schnittmaterials die Schnitte nur von bestimmten, allerdings genau abgemessenen Stellen des Objectes genommen wurden.

Es könnte nun die Frage aufgeworfen werden, ob in Fällen, in denen es sich vorzugsweise um Einzelschnitte handelt, nicht besser auf eingebettetes Material verzichtet und zweckmässiger das frische und zwar aus freier Hand geschnitten wird. Kennt man die Paraffineinbettung noch nicht aus eigener Erfahrung, so ist man geneigt, die Frage unbedingt zu Gunsten der älteren Methode zu beantworten. Macht doch die Einbettung auf denjenigen, der sie aus der Beschreibung kennen lernt, den Eindruck des Complicirten und Zeitraubenden. Thatsächlich ist beides keineswegs der Fall. Die meisten der vorzunehmenden Operationen sind so einfach, dass sie sich sehr viel schneller ausführen als beschreiben, ja selbst lesen lassen. Das Einlegen der Objecte in Alkohol der verschiedensten Concentrationsgrade, das Uebertragen in Chloroform und die Paraffinlösung, das Einbringen in den regulirten Wärmeschrank und das Ausschneiden aus dem erkalteten Paraffinkuchen, alles das erfordert, ist man einmal entsprechend eingerichtet, nur geringe Arbeit. Diese beginnt erst mit dem Aufschmelzen und Orientiren der Objecte und ist im Grossen und Ganzen mit dem Schneiden und Auf-

setzen der Präparate auf dem Objectträger beendet. Die nachfolgende Behandlung der auf diesem klebenden Schnitte wird zu einer rein mechanischen und, wenn man sie im Grossen ausführt — es erscheint zweckmässig, eine grössere Zahl belegter Objectträger zusammenkommen zu lassen —, auch zu einer wenig zeitraubenden.

Von dem Einbringen der Objecte in Alkohol bis zu dem Einschliessen der vollendeten Präparate verstreichen allerdings mehrere Tage. Das bedeutet aber nur dann einen Zeitverlust, wenn man sich seine Arbeit nicht richtig eintheilt. Es ist durchaus unzweckmässig, ein bestimmtes Object einzulegen und die verschiedenen Phasen der Einbettung abzuwarten; man hat sich vielmehr reichlich mit Untersuchungsmaterial, nöthigenfalls mit solchem zu verschiedenen Arbeiten, zu versehen und dasselbe entweder gleichzeitig oder in entsprechenden, aus dem Verlauf der Untersuchung sich ergebenden Abständen einzubetten. Das kann um so unbedenklicher geschehen und ist um so bequemer auszuführen, als ja ein längeres Liegen in Alkohol und Chloroform als das vorgeschriebene für das Object keine nachtheiligen Folgen hat. Ferner besitzen die einmal in Paraffin eingeschmolzenen Pflanzentheile eine unbegrenzte Haltbarkeit und können somit ganz nach Bedarf geschnitten werden.

Bei gleichzeitiger Einbettung lassen sich auch leicht ein Dutzend Objecte gemeinsam in denselben Gefässen behandeln. Das Verfahren wird dadurch nicht unwesentlich vereinfacht. Allerdings muss man sich dann, um unliebsamen Verwechselungen vorzubeugen, die einzelnen Pflanzentheile genau merken.

Gerade eine derartige Masseneinbettung kommt für die zu Einzelschnitten bestimmten Objecte in Betracht. Wird sie angewandt, so ist der auf den einzelnen Pflanzentheil entfallende directe Zeitaufwand nicht viel grösser als derjenige, welchen entsprechende Schnitte an frischem Material erfordern. Besonders trifft das dann zu, wenn für diese aufhellende Reagentien nöthig werden. Deren Anwendung und die nachfolgenden Auswaschungen sind, umsomehr als die Schnitte nicht aufkleben und vor dem Wegschwemmen bewahrt werden müssen, ebenfalls zeitraubend. In der Zeit, welche ein difficiler, leicht auseinandergehender oder sich zusammenlegender Schnitt erfordert, kann man eine ganze An-

zahl auf dem Objectträger fixirter mit Terpentinöl, Alkohol und Wasser behandeln und endgültig einschliessen.

Dabei ist die grössere Sicherheit, mit der das Mikrotom arbeitet, noch gar nicht in Betracht gezogen; wenigstens an günstigem Untersuchungsmaterial sind Fehlschnitte so gut wie ausgeschlossen. Dass sich das von dem Schneiden aus freier Hand nicht sagen lässt, weiss Jeder aus eigener Erfahrung. Eine Zeitersparniss ist also auch hier zu verzeichnen.

Unter Berücksichtigung aller dieser Momente kommt man zu dem Schluss, dass sich mindestens in der Mehrzahl der Fälle die Paraffineinbettung auch für Einzelschnitte empfiehlt.

Ein kleiner Uebelstand — und derselbe wird besonders von denjenigen empfunden werden, welche sich mit der neuen Arbeitsweise noch nicht vertraut gemacht haben — bleibt allerdings der, dass man das betreffende Object nicht sofort definitiv untersuchen kann. Dieser Nachtheil, wenn man es überhaupt so nennen darf, wird aber durch die grössere Güte und Schönheit der Präparate gewiss ausgeglichen. Zudem ist ja nicht ausgeschlossen, dass man in besonders eiligen Fällen wieder zu der alten Methode greift.

Letztere wird übrigens auch aus folgenden Gründen nicht vollständig wegfallen.

Bei der Paraffineinbettung — und mit anderen Einbettungsmassen verhält es sich ebenso — ist es erste Bedingung, dass man mit dem Arbeiten erst dann anfängt, wenn man die zu untersuchenden Pflanzentheile dem Gröberen nach bereits kennt. Ganz besonders muss man über deren Achsenverhältnisse, sowie über diejenigen der allenfalls anhängenden seitlichen Glieder im Klaren sein. Nur dann ist eine genaue Orientirung, die Grundlage für ein erfolgreiches Schneiden, möglich.

Für eine derartig informirende Untersuchung, ebenso aber auch für alle die Fälle, in denen die feste, meist durch verholzte Theile bedingte Beschaffenheit des Objectes das Schneiden mit dem Mikrotom unmöglich macht, bleibt die alte Präparationsmethode bestehen.

Verschwindet dieselbe hiernach auch nicht vollständig aus der mikroskopischen Technik, so dürfte doch, wie dies in der Zoologie

schon längst der Fall ist, der Schwerpunkt künftig in dem oder den Einbettungsverfahren liegen. Diese verdienen überall da, wo es sich um Schnittserien oder um histologische und entwickelungsgeschichtliche Details überhaupt handelt, ganz entschieden den Vorzug. Es ist mir nicht zweifelhaft, dass Jeder, der sich erst einmal an die neue, ebenso sichere als elegante Art des Arbeitens gewöhnt hat, nur da, wo es unbedingt nothwendig erscheint, zu der alten, schwerfälligen Arbeitsweise zurückgreifen wird.

Heidelberg, im Juni 1889.

Die Wege des Transpirationsstromes in der Pflanze.

Von

Th. Bokorny.

Um den Weg des Transpirationsstromes zu erkennen, sind hauptsächlich zwei verschiedene Methoden angewandt worden: 1. Unterbrechung der Continuität bestimmter Gewebe durch Einschneiden der Pflanze bis auf eine gewisse Tiefe, 2. Aufsaugenlassen von Farbstofflösungen durch transpirirende Pflanzen, bisweilen auch Durchpressen solcher Flüssigkeiten durch Pflanzentheile.

Die erstere Art zu experimentiren hat den grossen Vortheil, dass man an lebenden und beliebig grossen Pflanzen (auch hohen Bäumen) mit Leichtigkeit Antwort auf gewisse Fragen sich erholen kann. Man braucht nur die Rinde durch einen Ringelschnitt zu entfernen und die Wunde zu verstreichen, um an jeglicher Holzpflanze ohne Weiteres zu entscheiden, ob die Rindengewebe für die Wasserversorgung wesentlich sind (ältere Versuche). Um zu erfahren, ob die äusseren Holzlagen für Zufuhr des nöthigen Transpirationswassers unentbehrlich sind, hat man nur nöthig, den Stamm bis zur gedachten Tiefe einzusägen und abzuwarten, ob die Pflanze welkt (R. Hartig)[1].

Während auf diese Weise einige allgemeine Resultate an lebenden Pflanzen gewonnen werden, gestattet die zweite Methode eine detailirte, aber nicht ganz richtige Erkennung der Bahnen des Transpirationsstromes[2]), da sich nach v. Sachs hierbei auch Gewebe

1) Untersuchungen aus dem forstbotan. Institut zu München II, und Ber. d. d. bot. Ges. 1889, Heft 2.

2) A. Wieler in Pringsheim's Jahrb. 1888, u. A.

färben, die gar nicht vom Wasserstrom berührt werden (Steinzellen im Mark von Anona ovata)[1]), und die wirklich durchströmten Gewebe mehr nach Maassgabe ihrer Tinctionsfähigkeit von der Farbstofflösung gezeichnet werden, als nach dem Grade, in dem sie von dem Transpirationsstrom getroffen sind. Gewisse Zellen speichern bekanntermaassen Farbstoffe in ihren Wänden auf und treten dadurch bei solchen Versuchen ungebührlich hervor[2]). Ferner sind viele dieser Farbstoffe (Anilinfarben) giftig und beeinträchtigen somit die Richtigkeit des Versuchsergebnisses, da doch der Gang des Wasserstromes in der lebenden Pflanze erkannt werden soll.

Für gewisse Holzpflanzen ist durch R. Hartig auch noch eine andere Methode zur Anwendung gebracht worden, die Bestimmung des Wechsels im Wassergehalt der verschiedenen Holzlagen: „Da ist zunächst interessant, dass bei der Birke die inneren älteren Holzlagen sehr wasserreich, ja zu verschiedenen Jahreszeiten wasserreicher sind, als die jüngeren äusseren Holzschichten. Der ältere Holzkörper zeigt das ganze Jahr hindurch fast denselben Wasserreichthum, und nur zur Zeit der grössten Wasserarmuth, im October, ist derselbe auffällig trockener. Die grösste Veränderung des Wasserstandes zeigt dagegen der (jüngere) Splint, in welchem z. B. im Mai ca. 70 % des Zelllumens, im October nur 35 % mit Wasser erfüllt sind. Wahrscheinlich erfolgt also auch im jüngeren Splint der Birke die lebhaftere Strömung, während der ältere Splint mehr ein Wasserreservoir für Zeiten der Noth ist, ohne seine Wasserleitungsfähigkeit ganz verloren zu haben.“

Da die erste Methode nur bei gewissen Pflanzen (Holzpflanzen) anwendbar ist und eine detailirte Erkennung der Wasserbahnen (bis auf einzelne Zellen und Zellbestandtheile zurück) nicht gestattet, die zweite aber an den schon erwähnten Mängeln leidet, suchte ich nach einer neuen Methode, den Weg des Transpirationsstromes nachzuweisen. Ich bemühte mich, einen Stoff zu finden, der wasserlöslich, nicht giftig, leicht in loco nachweisbar ist und in den Pflanzengeweben nicht absorbirt wird.

---

1) Arbeiten des botan. Instituts zu Würzburg, Bd. II, p. 149.

2) Nach einer Mittheilung von Sachs a. a. O. steigt Anilinblau in Filtrirpapierstreifen während derselben Zeit, in der das Wasser 28,5 cm zurücklegt, nur 2,7 cm.

Das salpetersaure Lithium, das von Sachs mit Erfolg zu Versuchen über die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes angewendet worden ist, erfüllt die gestellten Anforderungen bis auf eine, den Nachweis in loco. So leicht es ist, die Anwesenheit eines Lithiumsalzes in irgend einer Querzone des Stengels durch Spectralanalyse nachzuweisen, so unmöglich dürfte es sein, seinen Sitz in den Geweben genau durch eine mikrochemische Reaction festzustellen, da dasselbe keine charakteristischen, leicht erfolgenden Fällungen giebt.

Ferrocyankalium wäre wohl einigermassen brauchbar, wenn es nicht durch die Eiweissstoffe der Pflanze, die ja nach Wiesner vielfach auch in der Membran vorkommen, festgehalten würde. Eine mechanische Bindung desselben (nach Art der Farbstoffe) findet nicht statt, wie ich mich durch besondere Versuche mit Streifen von Filtrirpapier, die in die Lösung tauchten und dieselbe unzerlegt aufsogen, nach Sachs' Vorschrift überzeugte. Da ein Nachweis desselben in loco ebenfalls möglich ist (mit Eisenchlorid), so stände der Anwendung dieses auch nicht giftigen Stoffes [1]) weiter nichts im Wege [2]), wenn dessen chemische Bindung in der Pflanze nicht zu befürchten wäre. Versuche mit abgeschnittenen Zweigen von Hydrangea japonica und Cucurbita fielen in der That ganz unbefriedigend aus [3]).

Lässt man Salpeter (ich nahm Natronsalpeterlösung von 1 : 200) von abgeschnittenen Stengeln, Blättern etc. aufsaugen, so bleiben dieselben völlig normal; das Saugen geht flott vor sich, der Salpeter steigt mit dem Wasser ungehindert empor. Allein der Nachweis desselben mit Diphenylamin und conc. Schwefelsäure, der zuerst von Molisch in die Mikrochemie eingeführt wurde und

1) Spirogyren blieben 12 Stunden in 1 ‰ Ferrocyankalium völlig gesund; selbst in 1 % Lösung dieses Salzes waren nach 6 Stunden noch alle Zellen unverändert.

2) An gerbstoffhaltigen Pflanzentheilen nehmen freilich alle gerbstoffführenden Zellen mit Eisenchlorid schwarze oder blaue Farbe an, was den Nachweis des Ferrocyankaliums in loco beeinträchtigt.

3) Unger hat schon 1868 (Sitzber. d. Wiener Akad., Bd. 58, Abth. I) versucht, das Ferrocyankalium zu genanntem Zwecke zu verwenden, indem er Lösungen von 1 : 80 durch abgeschnittene Pflanzentheile hindurchpresste. H. Hoffmann benutzte dasselbe Salz schon vor 40 Jahren zum Nachweis des Transpirationsstromes (Bot. Ztg. 1848 u. 1850), indem er Lösungen von transpirirenden Pflanzen aufsaugen liess, erhielt aber abnorme Resultate.

schwarzen Sterns, von der Eisenlösung herrührend, zu erkennen; dazwischen war das Holz gesund und ungefärbt geblieben. Hartig hat also eine Eisenoxydsalzlösung von der transpirirenden Pflanze aufsaugen lassen, aber nicht auf dessen Anwesenheit in den Geweben reagirt, sondern es dem Eisensalz überlassen, dass es seinen Weg selbst kennzeichne durch Schwarzfärbung der Gewebe, welche jedenfalls von dem Gerbstoffgehalt derselben herrührte. Nun ist klar, dass auf solche Weise nur diejenigen Stellen gekennzeichnet werden, welche von der Lösung berührt werden und zugleich Gerbstoff enthalten; gerbstofffreie Wegstrecken würden nicht gezeichnet werden.

Die Methode, dem Transpirationswasser eine Spur Eisenvitriol zuzusetzen und dann das Eisen in den Pflanzengeweben mit Ferricyankalium nachzuweisen, ist also wohl neu.

Folgende Versuche sind zum Theil mit abgeschnittenen Pflanzentheilen, zum Theil mit ganzen Pflanzen ausgeführt worden, welche entweder als Wasserculturen gezogen worden waren und so ohne Weiteres verwendet werden konnten, oder aus der Erde beziehungsweise aus Töpfen mit möglichster Schonung des Wurzelsystems ausgehoben wurden. Der Vorzug des Experimentirens mit unverletzten Pflanzen braucht nicht weiter hervorgehoben zu werden.

Nicotiana rustica L.

Eine eben blühende Topfpflanze von 1 Meter Höhe wurde aus dem Topf gehoben, durch fliessendes Wasser von der anhängenden Erde zum grossen Theil befreit und dann in 1 ‰ Eisenvitriollösung bei hellem Sonnenschein gebracht. Im Topf etwas schlaff geworden, erholte sie sich rasch und nahm so starke Turgescenz an, dass die Blattstiele bei geringem Druck brachen. Nach 10stündiger Versuchsdauer hatte die Pflanze ganz normales Aussehen und enthielt im (hier ziemlich mächtigen) Xylem aller Theile reichlich Eisen; zu bemerken ist, dass das Xylem der obersten Blattstiele lediglich in den Gefässwandungen Blaufärbung mit salzsäurehaltigem[1]) Ferricyankalium ergab, ein Verhalten, welches sich in

1) Merkwürdiger Weise gelingt es hier nicht, mit salzsäurefreiem Ferricyankalium irgend eine Reaction zu erhalten, selbst nicht bei 25stündigem Ein-

der **ganzen** Pflanze zeigt, wenn man dieselbe schon nach einstündiger Versuchsdauer untersucht. Eisenhaltige Flüssigkeit im Gefässlumen konnte ich nirgends auffinden. Der Eisengehalt der Blattstiele gab sich schon dem freien Auge nach Anwendung von Ferricyankalium auf Querschnitte durch Auftreten eines scharf begrenzten blauen, etwas gebogenen Querstreifens zu erkennen. Von besonderem Interesse war mir der Eisengehalt der **Sklerenchymfasern**, welche die ganze Pflanze durchziehen und am Stengelquerschnitt in der Peripherie des Markes (zum Theil als Begleiter der hier markständigen Siebbündel) und ausserhalb des Holzringes in der Rinde liegen; ihre Wandungen nahmen mit salzsäurehaltigem Ferricyankalium starke Blaufärbung an und waren durch völlig ungefärbte Zellschichten von dem ebenfalls blauen Xylem getrennt.

An einem zweiten Exemplar von ebenfalls 1 Meter Höhe fand ich das Eisen schon nach $^3/_4$ Stunden in den obersten Blättern vor. Das Eisen hatte also in längstens $^3/_4$ Stunden einen Weg von 1 Meter zurückgelegt und dürfte wohl die gleiche Geschwindigkeit wie der Transpirationsstrom gehabt haben; es schien hauptsächlich in den Gefässwandungen aufgestiegen zu sein.

Um zu erfahren, welchen Einfluss das Abschneiden der Pflanze auf den Gang des Transpirationsstromes habe, brachte ich eine über der Wurzel abgeschnittene $1^1/_2$ Meter hohe Freilandpflanze mit der Schnittfläche in die Eisenvitriollösung und fand, dass nach zwölfstündiger Versuchsdauer genau dieselben Gewebe Eisen enthielten, wie bei dem Versuch mit ganzen Pflanzen. Die Wandungen des Xylems und der erwähnten, vom Xylem getrennt verlaufenden, Sklerenchymfasern nahmen mit salzsäurehaltigem Ferricyankalium Blaufärbung an.

Von Interesse dürfte noch sein, dass (in beiden Fällen) die Markstrahlzellen frei von Eisen waren; sie zogen sich an mit Ferricyankalium behandelten Querschnitten als ungefärbte Streifen durch den sonst intensiv blauen Holzkörper durch.

---

legen der Schnitte in Ferricyankalium von 1 : 20, wiewohl im Holzkörper nach dem Versuch reichlich Eisen vorhanden ist. Bei Zusatz von etwas Salzsäure tritt dann sofort starke Blaufärbung ein.

Humulus Lupulus L.

Eine 5 Meter lange Hopfenpflanze wurde noch an der Stange über dem Erdboden abgeschnitten und das untere Ende 2 Stunden zum Ausgleich etwaiger Luftdruckdifferenzen mit der Luft in Berührung gelassen, dann in Eisenvitriol 1 : 1000 gebracht, indem einfach ein Glas mit dieser Lösung untergestellt wurde. Die schon schlaff gewordene Pflanze erholte sich rasch wieder und verbrauchte viel Lösung. Die mikrochemische Untersuchung ergab nun, dass das Eisen im Holzkörper 4 Meter hoch emporgestiegen war; die Wände des Holzkörpers nahmen mit Ferricyankalium und Salzsäure intensiv blaue Farbe an, Rinde[1]) und Mark waren frei von Eisen. An der ursprünglichen Schnittfläche war das Rindenparenchym schon ohne Reagens intensiv schwarz (Gerbstoffreaction), zeigte aber eine kurze Strecke über dieser seine normale Farbe.

Im Xylem nehmen insbesondere die Wandungen der Holzfasern, die aus zwei Schichten bestehen und nur ein punkt- oder spaltförmiges Lumen übrig lassen, intensive Blaufärbung an; sie stehen in Gruppen zusammen, die oft von den Gefässen durch Parenchymzellen allerseits getrennt sind. Von Interesse war nur, dass diese Parenchymzellen häufig eisenfrei waren, so dass man nicht etwa vermuthen konnte, die Holzfasern seien von den Gefässen aus mit Eisen getränkt worden. Die Gefässwandungen selbst nahmen ebenfalls Blaufärbung an, besonders stark die der Markkrone.

Pisum sativum L.

Eine in Wassercultur gezogene Pflanze von 90 cm Höhe (die Wurzel mitgerechnet) wurde in eisenvitriolhaltiges Wasser (1 : 1000) statt der Nährlösung gebracht und nach achtstündiger Versuchsdauer untersucht. Der Versuch wurde an einem warmen sonnigen Junitage ausgeführt; die Cultur stand im Freien und litt während des Versuches in keiner sichtbaren Weise.

Als hierauf Querschnitte durch Wurzel und Stengel angefertigt

1) Entlang den in der Rinde auslaufenden Markstrahlen, ferner in der Umgebung der dort verlaufenden Sklerenchymfasern (und in diesen selbst) zeigte sich häufig Blaufärbung mit Ferricyankalium.

und mit einer Mischung von Ferricyankalium und etwas Salzsäure betupft wurden, zeigte sich, dass die Gefässbündel in allen Höhenlagen der Pflanze Eisen enthielten; auch in den feinsten Auszweigungen der Blattnerven war dasselbe deutlich nachzuweisen. An den dünnen Wurzeln wurde der gesammte Querschnitt blau; an den dickeren nur der centrale Gefässbündelcylinder, und zwar Holztheile wie Siebtheile und Sklerenchymstränge. In der unteren Stengelhälfte zeigten ausser den Holztheilen der Gefässbündel auch die Phloëmtheile und die Sklerenchymstränge, die sich letzteren aussen anschliessen, Eisengehalt; im oberen Stengeltheil nahmen nur die Xylemtheile und die Sklerenchymstränge Blaufärbung an; das dazwischen liegende Phloëm war eisenfrei. Der Sitz des Eisens schien mir überall nur die Wandung zu sein.

Die Blätter zeigten nach dem Versuch entlang den feinsten Auszweigungen (Endigungen) der Gefässbündel zahlreiche sehr kleine bräunliche Flecken, ein Zeichen, dass der Eisenvitriol bis dahin vorgedrungen und in das Blattparenchym übergegangen war, wo er wahrscheinlich in Oxydsalz übergeführt wurde und dadurch Braunfärbung bedingte.

Im sonstigen Gefässbündelverlauf (in Wurzel und Stengel) war eine Oxydation desselben, wenn überhaupt, jedenfalls nur in ganz geringem Maasse vor sich gegangen; die Gefässbündel zeigten keine Gelbbraunfärbung.

Ein Versuch mit dem abgeschnittenen Stengel einer Freilandpflanze von Pisum ergab ganz dasselbe Resultat hinsichtlich des Ortes der Wasserleitung; nur war das Sklerenchym frei von Eisen. In den Xylemtheilen des Gefässbündels war das Eisen schon nach $^1/_4$ Stunde auf grosse Strecken deutlich nachzuweisen. An einzelnen Gefässbündeln nahmen ausschliesslich die Gefässwandungen blaue Farbe an beim Betupfen mit dem Reagens.

Ampelopsis hederacea W.

Ein Zweig, welcher 1 Meter über der Erde durchgeschnitten und mit der Schnittfläche in Eisenvitriol 1 $^0/_{00}$ getaucht wurde, zeigte 24 Stunden später Eisen in seiner ganzen 6 Meter betragenden Länge; er hatte 350 ccm Lösung verbraucht. Allenthalben war das Xylem eisenhaltig (auch in allen Blattstielen), ausserdem aber

gewisse Partieen des Phloëms, deren Wandungen ziemlich dick sind. Zwischen den eisenhaltigen Phloëmtheilen und dem Holzkörper lagen gänzlich eisenfreie (cambiale) Zellschichten. Wir haben also hier ein Beispiel dafür, wie durch Imbibitionskraft (denn nur solche kann bei Wanderung des Wassers in den Zellwänden in Betracht kommen) das Wasser bis zu 6 Meter in die Höhe getrieben werden kann. Wahrscheinlich würde es noch viel höher gestiegen sein, wenn der Zweig länger gewesen wäre.

Phaseolus multiflorus Lam.

Eine 1 Meter hohe Wassercultur dieser Pflanze zeigte, nachdem die Nährlösung auf 12 Stunden durch 1 ‰ Eisenvitriol ersetzt worden war, in allen Theilen vollkommen normales Aussehen, makroskopisch und mikroskopisch. Sie enthielt dann in allen Höhenlagen Eisen im Xylem der Gefässbündel, aber nicht ganz gleichmässig. Die eisenhaltigen Zellen bildeten Gruppen, welche scharf abgegrenzt und oft beträchtlich von einander entfernt waren und theils aus Gefässen, theils anderen Xylemelementen bestanden. Als theoretisch wichtig möchte ich hervorheben, dass häufig eisenhaltige Zellgruppen aufzufinden waren, welche keine Gefässe enthielten und auch weit von Gefässen abstanden.

Cucurbita Pepo L.

Eine Topfpflanze von etwa 40 cm Höhe (von der Erde an gemessen) wurde vorsichtig aus dem Topf genommen und durch Umherschwenken in Wasser von dem grössten Theil der anhängenden Erde befreit, dann in Eisenvitriol 1 : 1000 mit dem gesammten Wurzelsystem gebracht. Die Wurzeln und die ganze sonstige Pflanze waren unverletzt. Nach einiger Zeit liess sich das Eisen allenthalben in den Gefässbündeln nachweisen, in den unteren Stengeltheilen, ausserdem auch im Collenchymgewebe und im Sklerenchym; in den Wurzeln war auch das Rindenparenchym eisenhaltig. Die Gefässbündel erschienen auf dem Querschnitt als gelblich braune Punkte, in der Längsansicht als eben solche Streifen, schon ohne Zusatz eines Reagens, ein Zeichen, dass das Eisen in denselben zum Theil oxydirt worden war; der Sitz der Gelbbraunfärbung sowohl als der

Blaufärbung mit Ferricyankalium war die Zellwand. In den unteren Theilen der Pflanze waren sowohl Bast als Holzkörper eisenhaltig, in den oberen nur der Holzkörper, ganz oben die Gefässe allein. An den Gefässen erwies sich deutlich die Wand als eisenhaltig, das Lumen war frei davon; ausser den Gefässwänden zeigten aber auch die anderen Zellwände Eisengehalt in verschiedenem Maasse. Je stärker die Wände von Hause aus gelbbraun gefärbt waren, desto undeutlicher trat nachher Blaufärbung mit Ferricyankalium ein (das Eisen war oxydirt); an solchen Zellwänden trat dann Blaufärbung mit Ferrocyankalium und Salzsäure auf. Durch Ablagerung des (unlöslichen) basischen Eisenoxydsalzes in den Wandungen scheint das Leitungsvermögen derselben rasch aufgehoben zu werden; denn die Blätter welkten nach 24 Stunden.

Amarantus.

Mit dem Wurzelsystem einer zu Transpirationsversuchen verwendeten Topfpflanze von Kürbis war das eines kleinen Amarantus so unentwirrbar verstrickt, dass ich ihn nicht entfernen konnte, ohne die Wurzeln zu zerreissen. Letzterer kam also mit in die 1 ‰ Eisenvitriollösung, nahm das Eisen leicht auf und liess nach 10 Stunden folgende Vertheilung des Eisens erkennen: Am Stengelquerschnitt wurden mit Ferricyankalium und etwas Salzsäure die Wände des Sklerenchyms intensiv blau, die der Epidermis und des Collenchyms, soweit dies ausgebildet war, schwächer blau; die Xylemtheile zeigten nur an den zwei grösseren von den sechs Gefässbündeln schwachen Eisengehalt; alle übrigen Gewebe waren eisenfrei. Wir haben also hieran ein schönes Beispiel dafür, wie Sklerenchym und Collenchym in der lebenden unverletzten Pflanze bisweilen die Wasserleitung übernehmen und fast ausschliesslich besorgen. Da der Sklerenchymring hier verhältnissmässig mächtig, die Xylemtheile schwach sind, darf man ersterem nach v. Sachs ja von vornherein eine gewisse Betheiligung an der Fortleitung des Transpirationsstromes zutrauen; das Experiment mit der unverletzten Pflanze hat diese Annahme bestätigt. Das Aussehen der Pflanze nach dem Versuch war völlig normal.

Tilia grandifolia Ehrh.

Beblätterte Zweige dieses Baumes transpiriren sehr stark und verbrauchen viel Eisenlösung, so dass das Eisen in kurzer Zeit überall nachzuweisen ist. Die Lösung steigt, wie ein Versuch lehrte, im Holzkörper auf, und zwar in sämmtlichen Jahresringen, mit Ausnahme des innersten (an einem siebenjährigen Zweige) und des eben in Bildung begriffenen (diesjährigen) Holzringes, wenigstens soweit derselbe noch nicht ganz aus der cambialen Beschaffenheit herausgetreten ist. Mark und Rinde incl. Bastkörper bleiben frei von Eisen.

Sinapis alba L.

Eine Topfpflanze wurde sorgfältig ausgehoben und durch Umschwenken in Wasser von anhängender Erde befreit, dann mit den Wurzeln in Eisenvitriollösung 1 : 1000 gebracht und nach fünf Stunden untersucht. Die oberen Blätter waren schlaff, die unteren noch turgescent. In der ganzen Pflanze, mit Ausnahme des oberen Stengeltheiles, war der Holzkörper der Gefässbündel und auch das Phloëm stark eisenhaltig, was sich durch intensive Blaufärbung der Zellwände mit Ferricyankalium kundgab. Während an der Stengelbasis der hier geschlossene mächtige Holzkörper (mit dem Bastring) eine gleichmässige Blaufärbung mit Ferricyankalium aufwies, zeigten in den höher liegenden Stengeltheilen die nun nicht mehr zusammenhängenden und viel kleineren Gefässbündel sehr ungleichmässigen Eisengehalt; die eisenreichsten waren jene, welche auf der Seite der drei noch turgescenten Blätter lagen und weiter oben in diese austraten, ein Beweis, dass der Eisengehalt der Gewebe mit dem Gang des Transpirationsstromes zusammenhängt. In den Blattrippen der noch turgescenten Blätter war das Eisen ebenfalls reichlich vorhanden. Erwähnenswerth dürfte noch sein, dass vielfach auch das subepidermale Collenchym des Stengels Blaufärbung der Wandungen mit Ferricyankalium ergab.

Populus nigra L.

An einem in Eisenlösung gestandenen zweijährigen Zweige nahmen mit Ferricyankalium nur die Wandungen des Holzkörpers

Blaufärbung an; der eben ansetzende dritte Jahresring war fast frei davon. Die Sklerenchymbündel der Rinde zeigten keine Spur von Eisen.

Liriodendron tulipifera.

Ein reich beblätterter abgeschnittener Zweig von 1 Meter Länge wurde zuerst 1 Stunde an der Luft liegen gelassen zur Ausgleichung der Druckdifferenz zwischen äusserer und Gefäss-Luft, dann unter Wasser abgeschnitten und in Eisenvitriollösung 1 : 1000 gebracht. Nach 5 Stunden war das Eisen im ganzen Zweige verbreitet; allenthalben nahmen die Wandungen des Holzkörpers mit Ferricyankalium blaue Färbung an. Das in der laufenden Vegetationsperiode (bis Juni) gebildete Neuholz zeigte sich auch hier wieder fast frei von Eisen. Rinde (auch Bast) und Mark waren völlig eisenfrei.

Helianthus annuus L.

Eine Topfpflanze von 50 cm Höhe mit einigen kräftigen Laubblättern wurde vorsichtig aus dem Topf genommen, von der anhängenden Erde durch Hinundherschwenken im Wasser befreit und dann mit dem Wurzelsystem in 1 $^0/_{00}$ Auflösung von Eisenvitriol gebracht. Nach 10 Stunden Besonnung ergab die mikrochemische Untersuchung der noch ganz gesund aussehenden Pflanze Eisengehalt in allen Höhenlagen derselben. Allenthalben wurde der Holzkörper und in schwächerem Maasse auch der Bastkörper der Gefässbündel blau beim Betupfen mit Ferricyankalium; der dazwischen liegende cambiale Theil blieb frei von Färbung. Am Holzkörper zeigte die innere Partie stets eine intensivere Blaufärbung als die äussere; vom Gefässbündel aus erstreckte sich letztere noch eine kleine Strecke weit in das Mark und die Markstrahlen hinein, deren Zellwandungen sogar ziemlich intensive Färbung aufwiesen. Die dem dünnwandigen Bast nach aussen sich anschliessenden Sklerenchymbündel waren stets frei von Eisen; desgleichen die primäre Rinde des Stengels mit dem hier ziemlich kräftig entwickelten Collenchym. An den oberen Theilen des Stengels war die Blaufärbung im Allgemeinen schwächer als an den unteren und erstreckte sich nicht mehr auf alle Gefässbündel.

An einem abgeschnittenen Stengel erhielt ich genau dieselben Resultate, nur war stellenweise auch das Collenchym an der Wasserleitung betheiligt.

Pelargonium zonale.

Der Blattstiel von P. zonale zeigt im Querschnitt einen Kreis von Gefässbündeln, welche der Innenseite eines continuirlichen Sklerenchymringes anliegen, an Grösse sehr verschieden sind und grössere, von Mark erfüllte, Zwischenräume in tangentialer Richtung zwischen sich lassen. Im Centrum des Blattstieles verläuft ein kräftiger Gefässbündel mit nach oben liegendem Basttheil, der an Mächtigkeit des Bast- und Holzkörpers alle anderen Blattstielbündel übertrifft. Ausserhalb des Sklerenchymringes liegt grosszelliges Parenchym, welches nach aussen durch die Epidermis und eine unter dieser liegende, collenchymatisch ausgebildete Zelllage abgeschlossen ist. Am oberen Ende des Blattstieles ändern sich die anatomischen Verhältnisse insofern, als der Sklerenchymring Unterbrechungen zeigt, d. h. nur an der Aussenseite der Gefässbündel entwickelt ist, nicht an den zwischen diesen liegenden Stellen. Zugleich zeigt das centrale Gefässbündel und zum Theil auch die peripherischen eine etwas andere Ausbildung des Phloëms, indem sich zwischen die sehr kleinen dünnwandigen Bastzellen grössere mit collenchymatisch verdickten Wandungen einschieben. Bei Anwendung von Indol und Schwefelsäure zeigt sich, dass ausser den Holztheilen der Gefässbündel der Sklerenchymring verholzte Wandungen besitzt.

Stellt man unter Wasser abgeschnittene Blätter von P. zonale mit dem unteren Blattstielende in eine wässerige Auflösung von Eisenvitriol 1 : 500, etwa 1 cm hoch eintauchend, so zeigt sich das Salz schon nach $^1/_2$ Stunde im ganzen Blattstiel, der hier 6—12 cm Länge besitzt; Querschnitte durch den Stiel in verschiedenen Höhen geben mit Ferricyankalium Blaufärbung an bestimmten Stellen. Am stärksten tritt letztere in den Wandungen der Epidermiszellen und der zunächst darunter liegenden Schicht ein, schwächer im Sklerenchymring und den Gefässbündeln; Mark und Rindenparenchym sind frei davon, wenn man die Querschnitte nicht gerade unmittelbar an dem in die Lösung getauchten Ende des Stieles entnimmt. Dass

das Eisen von dem Sklerenchym- und Gefässbündelring her in die Epidermis gelange, ist nicht denkbar, da die zwischenliegende vielfache Lage von Parenchymzellen gänzlich farblos bleibt und offenbar nicht leitet. Lässt man auf Epidermiszellen, welche jenen Eisenvitriol in den Wandungen aufgesaugt haben, plasmolysirende Mittel einwirken, so zeigt sich, dass das Plasma normale Plasmolyse ergiebt, also lebendig ist. Das Aufsteigen des Eisenvitriols in den Gefässbündeln macht sich bald von selbst kenntlich an der Schwarzfärbung der Blattnerven; nach drei Tagen kann (bei lebhafter Transpiration) die ganze Blattnervatur schwarz erscheinen; mikroskopische Untersuchung lehrt dann, dass die lebenden gerbstoffführenden Zellen der Gefässbündel mit dem (in den Zellen oxydirten) Eisenvitriol Gerbstoffreaction ergeben haben. Erst nach fünf Tagen zeigte sich bei meinen Versuchen ein Welken der Blätter unter starker Rothfärbung; ein gleichzeitig in aq. dest. eingestelltes Blatt welkte langsamer.

Alisma Plantago L.

Ein abgeschnittenes Blatt dieser Wasserpflanze lässt nach 24stündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1:500 deutlich erkennen, dass die Lösung lediglich in den zerstreuten Gefässbündeln aufsteigt; alle übrigen Theile des schwammig gebauten, mit zahlreichen grossen Luftlücken versehenen Blattstieles zeigen sich bei Prüfung mit Ferricyankalium frei von Eisen.

Silphium perfoliatum L.

Ein abgeschnittener, 60 cm hoher beblätterter Stengel dieser Composite enthielt nach achtstündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1:1000 Eisen in seiner ganzen Höhe. Letzteres hatte seinen Sitz in den Gefässbündeln, sowohl im Holz- als im Bastkörper; auch der dickwandige Bast zeigte mit Ferricyankalium starke Blaufärbung der Wandungen, wenigstens in seinen inneren Lagen. Am Holzkörper war besonders der marksichtige Theil eisenhaltig. Ausser den Gefässbündeln enthielten auch die Wände des subepidermalen Collenchyms reichlich Eisen, was allerdings nur für die in den Stengelkanten verlaufenden Collenchymtheile zutrifft. Doch erstreckte

sich der Eisengehalt des Collenchyms nur auf die untere Hälfte des Stengels.

Cochlearia officinalis L.

Eine ganze Pflanze wurde mit möglichst sorgfältiger Vermeidung einer Verletzung des Wurzelsystems ausgegraben und mit Wasser soweit gewaschen, dass nur noch die mit den Saugwurzeln verwachsenen Bodenpartikel daran hafteten, dann in Eisenvitriollösung von 1:500 gebracht. Nach 24stündigem Verweilen in derselben kam sie zur Untersuchung und zeigte reichlich Eisen in dem ganzen Wurzelsystem und im Stengel, in letzterem blos bis zu der Stelle, wo das erste Laubblatt mit seinem Achselspross abzweigte. In den Wurzeln wurden sämmtliche Gewebe mit Ausnahme des an den stärkeren Wurzeln ausgebildeten Periderms mit Ferricyankalium tiefblau. Am Stengel ergaben nur die Holztheile der im Kreis geordneten Gefässbündel diese Reaction. Die Pflanze hatte normales Aussehen.

Polygonum sp.?

Ein 45 cm langer, mit grossen frischen Blättern besetzter Stengel sog binnen 24 Stunden 12 ccm Eisenlösung auf, welche in den Wandungen des unter der Epidermis gelegenen Collenchyms bis zur Spitze emporstieg. Mit Ferricyankalium wurden diese intensiv blau, gleichgültig, ob man den Querschnitt oben oder unten entnahm, während die Gefässbündel hauptsächlich in den unteren Partieen des Stengels Eisengehalt zeigten, und zwar besonders in den Wandungen des Weichbastes. Der zwischen Gefässbündelkreis und Rinde liegende geschlossene Sklerenchymring war frei von Eisen.

Ulmus campestris L.

An einem etwa 40 cm langen, reich mit Blättern und Früchten besetzten Zweig liess sich nach 12stündigem Einstellen desselben in Eisenvitriol 1:500 und erfolgter ausgiebiger Transpiration das Eisen allenthalben im Holzkörper nachweisen. Merkwürdiger Weise waren es aber nur schmale Zonen desselben, welche mit Ferricyankalium Blaufärbung in den Zellwänden annahmen, während der

grössere Theil des Holzquerschnittes eisenfrei sich zeigte; in jedem Jahresring waren es schmale Partieen des Herbstholzes, entweder des zuletzt gebildeten oder etwas älteren, die sich eisenhaltig erwiesen. Hier zeigte sich das Eisen in sämmtlichen Zellwandungen und in allen Schichten jeder Wand, sowohl der mittleren als den gegen das Zelllumen zugekehrten. Mark und Rinde waren völlig frei von Eisen.

Aesculus flava Ait.

Ein 50 cm langer beblätterter Zweig sog in 12 Stunden 20 ccm Eisenlösung auf, welche im Holzkörper emporstieg, aber nicht gleichmässig in der ganzen radialen Ausdehnung desselben; von den vier an der Hauptachse des Zweiges ausgebildeten Jahresringen zeigten nur die drei äusseren Blaufärbung in den Wandungen bei Einwirkung von Ferricyankalium; ferner blieb von dem jüngsten Jahresring die dem Cambium zunächst liegende unfertige Partie frei von Färbung. Mark und Rinde (primäre und secundäre) waren frei von Eisen. An einem abgeschnittenen und in Eisenlösung gestellten Blatt zeigten sich die Wandungen des unter der Blattstiel-Epidermis liegenden Collenchyms als wesentlich betheiligt bei der Wasserleitung durch starken Eisengehalt bis zu beträchtlicher Höhe.

Pachypleurum cachroides Ledeb.

An einem abgeschnittenen Blatte zeigte nach 24stündigem Aufenthalt desselben in eisenvitriolhaltigem Wasser der Querschnitt durch die verbreiterte Blattstielbasis ohne weiteren Zusatz dunkle Punkte, welche den über den Querschnitt gleichmässig vertheilten, gerbstoffhaltigen Gefässbündeln entsprachen. Mit Ferricyankalium nahmen diese Stellen blaue Farbe an; die mikroskopische Untersuchung ergab, dass ausser dem Holzkörper auch die Zellwände des Sklerenchyms, sowohl des zu den Gefässbündeln gehörenden, als des isolirt unter der Epidermis auftretenden, Eisen enthielten.

Phlomis tuberosa L.

verdient Erwähnung als Beispiel für das Emporsteigen des Transpirationsstromes in dem Collenchymgewebe. Stiele von in Eisenvitriol gestandenen Blättern dieser Pflanze zeigen diese Erscheinung sehr deutlich.

Silaus virescens Boiss.

Der Querschnitt durch den Blattstiel eines in Eisenvitriollösung gestandenen Blattes ergiebt mit Ferricyankalium Blaufärbung der zerstreuten Gefässbündel, in denen namentlich der Holzkörper, aber stellenweise auch das Phloëm sich färbt.

Rumex orientalis Bernh.

In einem 50 cm langen Blatt, welches während 24stündigen Aufenthaltes in eisenvitriolhaltigem Wasser 20 ccm dieses verbraucht hatte, schien mir das eisenhaltige Wasser vorwiegend in den mächtigen Collenchymsträngen unter der Epidermis emporgestiegen zu sein. Die Wände des hier besonders schön ausgebildeten Collenchyms wurden mit Ferricyankalium intensiv blau. Das Eisen war in den Collenchymsträngen bis zur Blattspitze vorgedrungen.

Acer negundo.

Ein vorjähriger Trieb liess nach 12stündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1 : 500 das Eisen allenthalben im Holzring des vorigen Jahres erkennen, nicht in dem eben in Bildung begriffenen. Der Sitz der mit Ferricyankalium eintretenden Blaufärbung waren die Zellwände.

Prunus Cerasus var. semperflorens.

Ein 60 cm langer beblätterter Zweig enthielt nach 24stündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1 : 500 Eisen in seiner ganzen Längenausdehnung. Mit Ferricyankalium färbten sich an Querschnitten die Wandungen des Holzkörpers und auch die des dünnwandigen Bastes.

Lonicera Ledebourii.

Ein reich beblätterter Zweig von 50 cm Höhe zeigte nach 24stündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1 : 500 Eisen in seiner ganzen Längenausdehnung; er hatte 15 ccm der Lösung während dieser Zeit in sich aufgenommen. Das Eisen war überall mit Ferricyankalium in den Wandungen des aus drei Jahresringen gebildeten

Holzkörpers nachzuweisen; und zwar zeigten die Wände des dichteren Herbstholzes in jedem Jahresring eine viel stärkere Färbung als die des weitlumigeren, an grossen Gefässen reicheren Frühjahrsholzes. Das Cambium und der aus ihm eben (Ende April) entstehende neue Jahresring gab keine Spur von Färbung mit Ferricyankalium. Ebenso war alles übrige Gewebe frei davon.

Salix americana var. pendula.

An einem 1 Meter langen einjährigen Zweige, der eben zahlreiche Knospen zur Entfaltung brachte, konnte ich nach 24stündigem Einstellen desselben in 1 : 500 Eisenvitriollösung das Eisen im Holzkörper des ganzen Zweiges nachweisen; Bast, Rinde und Mark waren frei davon. An dünnen Querschnitten war deutlich zu sehen, dass sämmtliche Zellwandungen des Holzkörpers mit Ferricyankalium blaugrüne Färbung annahmen. Der Zweig hatte während 24 Stunden 6 ccm Lösung aufgenommen und besass nachher ganz frisches Ansehen.

Melianthus major.

Stellt man ein abgeschnittenes Blatt dieser Pflanze in Eisenvitriollösung von 1:500, so bemerkt man bald an der Schnittfläche eine Dunklung, indem der Eisenvitriol, soweit er oxydirt ist, in den zahlreichen gerbstoffführenden Zellen des Blattstielquerschnittes einen Niederschlag von gerbsaurem Eisenoxyd hervorruft. Nach 12 Stunden kann man den Weg, welchen der Eisenvitriol im Blattstiel genommen hat, an Schnitten durch den unteren Theil des Blattstieles zum Theil schon ohne weiteren Zusatz erkennen, indem die Gefässbündel in Folge ihres Gerbstoffgehaltes eine dunklere Färbung angenommen haben. Bringt man nun auf Querschnitte (auch durch den oberen Theil des Stieles) Ferricyankalium, so treten die Gefässbündel scharf als schwarze Punkte hervor. Unter dem Mikroskop bemerkt man, dass die Blau- beziehungsweise Schwarzfärbung den ganzen Querschnitt der Gefässbündel und auch noch deren nächste Umgebung betrifft, dass ferner die Wandungen des unter der Epidermis liegenden mehrschichtigen Collenchyms intensiv blau geworden sind. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure tritt nur am Holzkörper der Gefässbündel und dem innen anliegenden, derbwandigen Gewebe auf.

Helleborus viridis.

An einem 30 cm hohen, blatt- und blüthentragenden Stengel beobachtete ich, dass eisenvitriolhaltiges Wasser vorwiegend in den Wandungen der sklerenchymatischen Zellen aufstieg, welche hier die Gefässbündel umgeben und tangential mit einander verbinden. Schwache Blaufärbung mit Ferricyankalium nahm auch das Collenchymgewebe der Rinde (in den Wänden) an.

Ribes aureum Pursh.

An einem mit zahlreichen frischen Blatttrieben besetzten, 30 cm langen Zweigstück konnte ich nach 12stündigem Einstellen desselben in 1:500 Eisenvitriollösung (und Verdunstung von 4 ccm Wasser) das Eisen im ganzen Zweige wie auch in den jungen Trieben und den Blattstielen nachweisen. Merkwürdiger Weise zeigten hier nicht blos die Wandungen des Xylems, sondern auch die der übrigen Gewebe, mit Ausnahme des Periderms, Blaufärbung durch Ferricyankalium. Die Wände der Markzellen enthielten bis hinauf zur Zweigspitze reichlich Eisen; insbesondere aber nahmen die Wandungen des collenchymatisch ausgebildeten Rindengewebes intensive Blaufärbung in den Wandungen an; schwächer waren die Wände des Bastes gefärbt. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure trat nur in den Zellwänden des Xylems ein.

Spiraea.

Zweige mit jungen Seitentrieben saugen die Eisenvitriollösung, in welche sie gestellt werden, rasch auf, so dass das Eisen in allen Theilen des Zweiges nachzuweisen ist. Auch hier ist es nicht der Holzkörper, dessen Wandungen (mit salzsäurefreiem Ferricyankalium) die intensivste Eisenreaction geben, sondern der Weichbast; die sklerenchymatischen Elemente an der Aussenseite des Bastes, wie auch alle übrigen Gewebe des Zweiges zeigen sich frei von Eisen; nur schwache Färbung bemerkt man bisweilen in den Wänden des Sklerenchyms. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure tritt sowohl im Holzkörper als im Sklerenchym ein.

Caragana frutescens.

Nach 24stündigem Stehen eines belaubten Zweiges in Eisenlösung liess sich das Eisen allenthalben im Holzkörper desselben nachweisen. Mit Ferricyankalium nahmen die Wandungen des ersten Holzringes Blaufärbung an, insbesondere die äusseren Partieen desselben, während der sich eben neubildende, schon reichlich mit Gefässen versehene zweite Ring völlig frei davon blieb. 24 ccm der Lösung waren verschwunden.

Quercus suber L.

An einem 18 cm langen, mit frischen Blättern besetzten Zweige, den ich 12 Stunden in Eisenvitriollösung von 1 : 500 gestellt hatte, konnte ich das Eisen mit Ferricyankalium allenthalben im Holzring des Stengels nachweisen in Form deutlicher Blaufärbung; erst 5 cm unter der Gipfelknospe, über den ersten jungen Blättern, gelang der Nachweis nicht mehr; an Stelle des Blattaustrittes selbst trat Blaufärbung nur in dem in's Blatt ausbiegenden Gefässbündeltheil ein. Aber auch an den eisenhaltigen Abschnitten des Holzringes war nicht der ganze Holzkörper mit dem Salz getränkt; merkwürdiger Weise enthielt die äussere, an den Bast grenzende Partie desselben nichts davon. Die Blaufärbung zeigte sich, wo sie auftrat, in den dicken Wandungen der Holzprosenchymzellen und der Gefässe. Im Uebrigen enthielt kein Theil des Stammquerschnittes Eisen, mit Ausnahme einer äusseren ein- bis zweischichtigen Lage von Phloëmzellen, welche unmittelbar an den Sklerenchymring angrenzten und nach Ausbildung ihrer Wände schon ohnedies einen etwas abweichenden Eindruck machten; die Färbung mit Ferricyankalium beschränkte sich ganz scharf auf die Zellwände und betraf nicht den lebenden Inhalt der Zellen. Der Sklerenchymring war frei von Eisen.

Acacia decurrens W.

Ein einjähriger Zweig mit verdorrter Spitze und einem reich gefiederten Blatt, welches in seiner Achsel einen Seitenspross mit zwei unvollständig entwickelten Blättern und Gipfelknospe trug, wurde 6 cm unter dem Ursprung des Blattes abgeschnitten und in

Eisenvitriollösung von 1 : 500 gestellt. Nach 24 Stunden zeigte sich im holzigen Stengel eine starke Blaufärbung mit Ferricyankalium, welche sich auf den Holzkörper beschränkte und da, wo Blatt und Seitenspross abzweigten (6 cm über der Schnittfläche), nur auf dieser Seite des Holzringes hervortrat, ein deutliches Zeichen, dass dieselbe wirklich den Gang des Transpirationsstromes bezeichnete. Innerhalb des Holzkörpers trat eine merkwürdige Differenz in der Blaufärbung insofern hervor, als das unmittelbar an den Weichbast grenzende jüngste Holz am stärksten gefärbt war und die Färbung gegen das Mark zu allmählich schwächer wurde. Allenthalben war die Blaufärbung nur in den Wandungen des Holzkörpers zu bemerken, in jenen der Prosenchymzellen ebenso gut wie in denen der Gefässe. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure trat ausser im Holzkörper auch im Sklerenchymring auf, der hier den ganzen Gefässbündelring von aussen umschliesst; sie nahm innerhalb des Holzkörpers von der Markscheide gegen den Weichbast hin allmählich ab, zeigte also eine andere Vertheilung als obige Eisenreaction. In der Mittelrippe des doppelt gefiederten Blattes ergab sich ein abweichendes Verhalten bezüglich der Eisenvertheilung insofern, als ausser dem Holzkörper auch noch die Wandungen des Weichbastes und des Sklerenchymringes Eisen enthielten.

Corydalis solida Sm.

Blühende Pflanzen wurden über dem Erdboden abgeschnitten und in Eisenvitriol von 1 : 500 gestellt. Sie transpirirten lebhaft und liessen nach 12 Stunden deutlich den Weg des Transpirationsstromes erkennen, wenn man Querschnitte durch Stengel und Blattstiele mit Ferricyankalium betupfte. Die Gefässbündel wurden intensiv blau; tiefblau waren besonders die Wandungen des Weichbastes, die der Gefässe nur schwach. Ausser den Gefässbündeln zeigten sich auch die Epidermis- und Collenchym-Wandungen blau gefärbt. Letztere Färbung trat auch an Stengelquerschnitten oberhalb der Ansatzstelle des obersten Blattes noch hervor, während die Gefässbündel hier ungefärbt blieben. Für den Ersatz des im Blüthenstand verdunsteten Wassers schien in diesem Falle also durch Wasserleitung in Epidermis und Collenchym gesorgt worden zu sein; die in den Blättern abgegebene (viel grössere) Wassermenge war

wohl zum grösseren Theil durch die Blattspurstränge herbeigeführt worden. — Färbung durch den aufgesaugten Eisenvitriol allein trat hier nirgends ein; die Pflanze scheint also gerbstofffrei zu sein. — Dass die Pflanze durch die Aufnahme des Eisenvitriols nicht geschädigt wird, geht daraus hervor, dass sie nach mehrtägigem Stehen in der Lösung noch vollkommen frisch aussieht, wiewohl die Aufnahme der Lösung eine sehr energische ist. Corydalispflänzchen transpiriren sehr lebhaft, wie aus dem überaus raschen Welken derselben nach dem Abschneiden (ohne Wasserzufuhr) erhellt.

Rheum.

An abgeschnittenen Rheumblättern lässt sich binnen einer Viertelstunde mit Hülfe der Eisenvitriolmethode constatiren, dass der Transpirationsstrom in den hier über den ganzen Querschnitt zerstreuten Gefässbündeln aufsteigt; sie treten auf Querschnitten durch den Blattstiel mit Ferricyankalium als tiefblaue, scharf abgegrenzte Punkte hervor; ebenso nimmt das Collenchym blaue Farbe in den Wänden an.

Hydrangea japonica.

Abgegrenzte beblätterte Zweige dieser Pflanze saugen die Eisenvitriollösung rasch auf; letztere bewegt sich im Xylem und in den äusseren Partieen des Phloëms, wie sich mit Ferricyankalium ergiebt.

Canna indica L.

Topfexemplare, welche vorsichtig aus dem Topf gehoben und nach Abwaschen der Erde in Eisenvitriollösung von 1 : 1000 gebracht wurden, zeigten deutlich, dass der Transpirationsstrom in der unverletzten Pflanze sich hier vorwiegend in den Sklerenchymfasern[1]) bewegt, welche das Phloëm begleiten und in einzelnen Bündeln auch an die Epidermis herantreten; sie waren am stärksten eisenhaltig, weniger die Elemente des dünnwandigen Bastes.

---

1) Ein abgeschnittener Stengel von Elettaria Cardamomum zeigte nach 12stündigem Transpiriren Eisen in den Gefässbündeln und Sklerenchymbündeln bis zur Spitze; auch mit 1 ‰ Methylgrün gelang dieser Versuch einigermaassen.

Zea Mays.

Eine kräftige Wassercultur dieser Graminee wurde mit Wasser versehen, welches nur 1 ‰ Eisenvitriol, sonst nichts enthielt, und so der Sonne ausgesetzt. Nach zwei Tagen war die Pflanze noch lebendig, aber die Blätter begannen schwarzstreifig zu werden. Die mikrochemische Untersuchung der ganzen Pflanze ergab, dass die Gefässbündel der Wurzeln, des Stengels und der Blätter eisenhaltig waren; sie nahmen mit Ferricyankalium Blaufärbung an, merkwürdiger Weise vorwiegend im Phloëmtheil, dessen ziemlich dünne Wandungen intensiv blau wurden. Alle Gewebe ausserhalb der Gefässbündel waren frei von Eisen; auch die Sklerenchymbündel zeigten nichts davon.

Arundo Donax L.

Ein $1^1/_2$ Meter hoher abgeschnittener Stengel dieser Graminee zeigte nach $^1/_4$ stündigem Stehen in Eisenvitriollösung von 1 : 1000 in sämmtlichen Xylemtheilen Eisen, als ich ihn 15 cm über der ursprünglichen Schnittfläche abschnitt und einen Querschnitt aus dieser Höhenlage prüfte. Phloëm und Sklerenchym waren frei von Eisen. Nach acht Stunden war das Eisen in allen Höhenlagen des Stengels nachzuweisen, an der oberen Hälfte des Stengels allerdings nur in einzelnen Gefässbündeln (d. h. Xylemen).

Ein Versuch mit wässeriger Fuchsinlösung von 1 : 1000 ergab ebenfalls, dass der Transpirationsstrom in den Gefässbündeln allein emporsteigt. Als interessanter Unterschied gegenüber der Eisenvitriollösung ergab sich aber hier eine Färbung des gesammten Gefässbündels, Xylem und Phloëm; nur in obersten Lagen waren die Xylemelemente allein, oder zum Theil sogar die Gefässe allein gefärbt. Da nun nicht einzusehen ist, warum der Eisenvitriol nicht auch im Phloëm aufzufinden sein sollte, wenn der Transpirationsstrom diese Gewebe wirklich durchwanderte, muss angenommen werden, dass er diesen Weg nicht einschlägt, sondern lediglich im Xylem aufsteigt. Die Färbung von Phloëm im Fuchsinfalle ist dann wohl zu erklären aus einem Farbstoffspeicherungsvermögen des Phloëms, welches dem vorbeifliessenden Transpirationsstrom Farbstoff entreisst.

Larix europaea DC.

Ein Zweigstück von 35 cm Länge, welches eben (Ende April) zahlreiche Blätterbüschel entfaltete, wurde mit dem abgeschnittenen Ende in Eisenvitriollösung von 1:500 gebracht und nach 12 Stunden untersucht. Von der angewandten Lösung waren 2 ccm verschwunden; das Eisen liess sich leicht in der ganzen Länge des Zweiges bis hinauf zum obersten Blattbüschel mit Ferricyankalium nachweisen in Form stark grünblauer Färbung der Holzzellwände. Der gesammte Holzkörper enthielt Eisen in den Wandungen der Tracheiden, niemals in den Lumina. Auch hier zeigten sich in den höher gelegenen Partieen des Zweiges die Zellwände des Frühjahrsholzes reicher an Eisen als die des Herbstholzes; im oberen Viertel des Triebes waren letztere sogar eisenfrei. Bast, primäre Rinde und Mark ergaben keine Blaufärbung mit Ferricyankalium. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure zeigte, dass auch die Zellwände des Markes verholzt waren.

Bei einem zweiten Versuch (an der Sonne) mit einem 90 cm langen, mehrfach verzweigten sechsjährigen Ast verbreitete sich das Eisen während zweistündiger Versuchsdauer im ganzen Zweig und wurden 30 ccm Lösung verbraucht. Rinde und Mark waren frei von Eisen, desgleichen die beiden inneren Jahresringe. Im Uebrigen zeigte sich allenthalben das Frühjahrsholz reicher an Eisen als das Herbstholz.

Abies pectinata DC.

Ein beblätterter Zweig von 20 cm Länge, den ich in Eisenvitriollösung brachte, zeigte, als kaum 1 ccm Lösung verschwunden war, Eisen in allen Theilen des Holzkörpers. Durchschnitte durch den Zweig in verschiedenen Höhen ergaben mit Ferricyankalium intensive Blaufärbung des Holzkörpers, und zwar in sämmtlichen Jahresringen (es waren an dem Hauptast sechs, an den Seitenzweigen entsprechend weniger); innerhalb der Jahresringe aber zeigte überall das Frühjahrsholz eine stärkere Blaufärbung als das Herbstholz. Die Färbung war allenthalben auf die Zellwand beschränkt. In Bast, primärer Rinde und Mark war keine Spur von Eisen nachzuweisen. Die Verholzungsreaction mit Indol und Schwefelsäure trat ausser im Holzkörper auch im Mark sehr erheblich ein.

Gingko biloba.

Ein 1 Meter hoher 10jähriger Zweig dieser Conifere wurde fünf Stunden in Eisenvitriollösung von 1 : 1000 gestellt, nachdem er unter reinem Wasser abgeschnitten und dort mehrere Minuten (zur annähernden Ausgleichung der Druckdifferenz zwischen äusserer und innerer Luft) belassen worden war. Er enthielt dann in allen Höhenlagen reichlich Eisen. An Querschnitten wurden sämmtliche Holzringe mit Ferricyankalium intensiv blau; aber auch der äussere Bast mit seinen etwas dickwandigen Zellen zeigt diese Färbung, wenn auch in schwächerem Maasse; zwischen beiden blieb eine viele Zellschichten breite cambiale Zone völlig frei von Bläuung. Da letzteres statthatte, muss angenommen werden, dass das eisenhaltige Wasser im Bast selbstständig in die Höhe gestiegen sei; denn im Falle eines Ueberganges der Lösung vom Holzkörper in den Bast hätten die dazwischen liegenden Cambialschichten auch Eisen enthalten müssen.

Der Sitz der Blaufärbung war allenthalben die Wandung, die somit auch hier der Ort der Wasserleitung zu sein scheint.

Aconitum Störckeanum.

Ein beblätterter Stengel von 50 cm Höhe zeigte nach zwölfstündigem Stehen in Eisenvitriollösung und Verbrauch von 15 ccm Lösung Eisengehalt in seiner ganzen Länge; der Querschnitt liess beim Betupfen mit Ferricyankalium den Gefässbündelring blau erscheinen, aber merkwürdiger Weise nicht im Holzkörper, sondern im Phloëm (in den Wandungen), ausserdem zeigte die Markscheide blaue Farbe, selten (an den unteren Theilen des Stengels) die den Bast von aussen umschliessende halbmondförmige Gruppe von Sklerenchymzellen, noch seltener der Holzkörper. Weiter zeigte sich, dass an den obersten Stengeltheilen nur mehr die in die entfalteten Blätter austretenden Gefässbündel Eisen enthielten. Die Blattstiele boten eine ganz ähnliche Vertheilung des Eisens auf dem Querschnitt dar wie der Stengel.

Equisetum Telmateja Ehrh.

Ein 30 cm hoher vegetativer Spross enthielt nach zwölfstündigem Verweilen in Eisenlösung dieses in allen Höhen des Stengels. Mit Ferricyankalium nahm nur der Gefässbündelring

Blaufärbung an, welche schon für das freie Auge an dickeren Querscheiben scharf hervortritt als blauer Kreis. Der Sitz der Blaufärbung mit Ferricyankalium waren hauptsächlich die Wandungen des Phloëms und zwar besonders die der äussersten Lagen.

Pteris tremula R. B.

Ein Blatt von 25 cm Stiellänge und 30 cm Blattspreite saugte binnen 24 Stunden 8 cm der Eisenvitriollösung auf und enthielt dann allenthalben in den Gefässbündeln reichlich Eisen. Durchschnitte durch die letzteren zeigten mit Ferricyankalium intensive Blaufärbung des die Gefässe umgebenden kleinzelligen Gewebes (Phloëms), und zwar mehr in den äusseren als den unmittelbar an die Gefässe grenzenden Theilen; der Sitz der Blaufärbung war die Zellwand. Ueber das Gefässbündel hinaus erstreckte sich der Eisengehalt nicht; das gesammte Grundgewebe wie auch das an der Peripherie reichlich entwickelte Sklerenchym waren frei davon. Die Gefässwandungen selbst zeigten mir in einem Falle keine Blaufärbung mit Ferricyankalium, in einem andern hingegen deutliche Eisenreaction[1]; immer aber war das schon genannte Gewebe der Hauptsitz des Eisensalzes. Um zu sehen, welche Zellwände verholzt seien, brachte ich Schnitte durch den Blattstiel in Indol und Schwefelsäure und fand Kirschrothfärbung an den Wänden des Sklerenchyms und der Gefässe, sonst nirgends. Die Verholzungsreaction stimmt also auch hier durchaus nicht mit der Eisenreaction überein.

Cystopteris fragilis Bernh.

Eine Topfpflanze dieser Polypodiacee mit zahlreichen Blättern wurde ausgehoben, von Erde durch fliessendes Wasser zum grössten Theil befreit und mit dem Wurzelsystem in Eisenvitriollösung von 1:1000 gebracht. Nach 24 Stunden zeigten sich in Rhizom und Blättern lediglich die Gefässbündel eisenhaltig. An Querschnitten durch die Blattstiele gab sich der Eisengehalt mit salzsäurehaltigem Ferricyankalium (nicht mit Ferricyankalium allein) als intensiv blaue Färbung der Zellwände der beiden Gefässbündel zu erkennen, merkwürdiger Weise im ganzen Gefässbündel mit Ausnahme der Ge-

1) Bei Zusatz von etwas Salzsäure dürfte wohl immer auch in den Gefässwänden Blaufärbung eintreten.

fässe[1]). Die Inhalte der in den Wänden eisenführenden Zellen waren frei von Eisen. Aussehen der Pflanze nach dem Versuche normal; nur die Spitzen einiger Saugwurzeln waren theilweise etwas schwärzlich geworden (Gerbstoffreaction der Wurzelhaube); viele Saugwurzeln waren noch in der Farbe wenig verändert und zeigten starken Turgor.

Zusammenfassung.

Methode: Aus vorstehenden Versuchen dürfte wohl das Eine mit ziemlicher Sicherheit hervorgehen, dass die Methode, dem Wasser eine Spur Eisenvitriol zuzusetzen und es dann von ganzen Pflanzen oder abgetrennten Pflanzentheilen während der Transpiration aufsaugen zu lassen, zu brauchbaren Resultaten führt. Die so behandelten Pflanzen zeigen nach kurzer Zeit eine mit gewissen theoretischen Vermuthungen übereinstimmende und sehr bestimmte, gewöhnlich scharf abgegrenzte Vertheilung des Eisens, welche sich durch Ferricyankalium sehr deutlich zur Anschauung bringen lässt.

Das Eisen findet sich bei derartigen Versuchen in Gewebestücken vor, welche oft sehr weit von der Eintrittsstelle des eisenhaltigen Wassers entfernt sind, und zwar nach kurzer Versuchsdauer, so bei Nicotiana rustica 1 Meter hoch nach $^3/_4$ Stunden, bei Humulus Lupulus 4 Meter hoch nach 36 Stunden (hier waren die Transpirationsbedingungen in Folge trüben Wetters noch nicht einmal sehr günstig). Wir können das wohl nur in der Weise deuten, dass wir uns das Eisen mit dem Transpirationswasser in die Höhe steigend denken; denn eine andersartige Translocation des Eisens auf so weite Strecken ist im vorliegenden Falle wohl nicht denkbar. Ein blosses Ausgleichungsbestreben zwischen dem eisenhaltigen äusseren Wasser und den eisenfreien, oder jedenfalls sehr eisenarmen Pflanzensäften im weitesten Sinne des Wortes wäre sicher nicht im Stande, eine derartige Wanderung des Eisens in so kurzer Zeit zu bewirken. Ausserdem zeigt ja die oft sehr beträchtliche Abnahme der Eisenvitriollösung, dass letztere von der Pflanze wirklich aufgesaugt wird. Wie wenig durch blosse Diffusion geleistet wird, zeigt das Verhalten des Markes und der primären Rinde, welche häufig schon 1 Millimeter

1) Bei längerem Zuwarten tritt Blaufärbung wahrscheinlich auch in den Gefässen ein, wie ich auf Grund späterer Erfahrungen (bei Aspidium violascens) vermuthe.

über der Schnittfläche eisenfrei sind. Ferner ist hier von Belang, dass das Eisen oft einseitig dort vorgefunden wird, wo stark transpirirende Blätter oder beblätterte Zweige abgehen.

Wenn wir also bei solchen Experimenten Eisen in einiger Entfernung von der Eintrittsstelle auffinden, dürfen wir glauben, dass dasselbe durch den Transpirationsstrom dahin gelangt sei. Umgekehrt müssen wir wohl aus dem Mangel des Eisens in Geweben folgern, dass der eisenhaltige Wasserstrom durch solche Gewebe nicht gegangen sei. Freilich trifft dies nur dann vollständig zu, wenn eine Zerlegung der Eisenvitriollösung (durch mechanische oder chemische Bindung des Eisenvitriols) in den Pflanzengeweben nicht stattfindet; wäre letzteres der Fall, so könnte das Eisensalz in den unteren Gewebetheilen stecken bleiben und weiter oben nicht anzutreffen sein, trotzdem der Wasserstrom dahin gelangt wäre; oder es könnten einzelne der durchströmten Gewebe (vielleicht auch der nur angrenzenden Gewebe) das Eisen an sich reissen und allein eisenhaltig erscheinen, wiewohl sie nicht ausschliesslich die Wasserleitung besorgt hätten. Doch sind diese Befürchtungen hier nicht zu hegen, da eine derartige Zerlegung in kaum nennenswerthem Maasse stattfindet (siehe Einleitung).

Da die Blaufärbung der Gewebe in Folge der Unlöslichkeit des entstehenden blauen Körpers eine sehr scharf localisirte ist, kann man an Schnitten oft bis auf die einzelnen Membranlamellen zurück erkennen, welche Theile der Wasserleitung gedient haben. So ist z. B. bei Stengeln, deren Epidermis das Wasser leitet, leicht zu erkennen, dass die Cuticula hieran keinen Theil hat, wohl aber die sonstige Membran; selbstverständlich soll hiermit keine neue Thatsache berichtet, sondern nur ein Vorzug der Methode hervorgehoben werden. Wenn man sich darüber wundern sollte, dass die Bahnen des Transpirationsstromes bei Versuchen mit eisenhaltigem Wasser oft (z. B. an Stengeln) so ausserordentlich scharf begrenzt erscheinen, so möge bedacht werden, dass eben ein theilweises Uebergehen des Transpirationswassers in die Nachbarschaft der eigentlichen Strombahnen durch das oft minimale Leitungsvermögen der angrenzenden Zellen oder Membranlamellen sehr verzögert wird, und dass wohl auch keine Zugkräfte vorhanden sind, welche den Transpirationsstrom veranlassen könnten, seine oft schmale Bahn etwas nach der

Quere auszudehnen. Bei sehr langem (viele Tage langem) Zuwarten freilich wird man das Eisen schliesslich über den grössten Theil des Querschnittes des durchströmten Organs verbreitet finden, in Folge von Diffusion oder wirklicher Querleitung der Gewebe.

Der Eisenvitriol steigt mit solcher Geschwindigkeit in den transpirirenden Pflanzen empor, dass die Annahme, er halte gleichen Schritt mit dem Transpirationsstrom selbst, nichts Unwahrscheinliches hat. Verschiedene meiner Versuche zeigen, dass die Steighöhe des Eisenvitriols an die von v. Sachs mittelst salpetersauren Lithiums bestimmte Steighöhe des Transpirationsstromes nahe herangeht. Wenn wir daher die Eisenvitriolmethode auch nicht gerade zu genauen Bestimmungen der Steighöhe (siehe Filtrirpapierversuch in der Einleitung) verwerthen können, so giebt sie doch ein annäherndes Bild auch von der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes in der Pflanze.

Von grosser Wichtigkeit für die ganze Sache ist natürlich auch der Umstand, dass meine Methode auf lebende unverletzte Pflanzen anwendbar ist, da wir nur durch eine solche volle experimentelle Sicherheit über den wahren Gang des Transpirationsstromes erlangen können. Denn nur wenn wir an der Pflanze nichts Wesentliches ändern, dürfen wir sicher sein, den normalen Vorgang zu erfahren; und dass der Zusatz einer Spur Eisenvitriol [1]) zum aufzusaugenden Wasser eine solche Aenderung bedeutet, ist nicht wahrscheinlich, wenn man bei gerbstoffführenden Pflanzen unoxydirte Eisenvitriollösung anwendet, um die Gerbstoffreaction der Zellinhalte zu verhindern; denn wenn diese in reichlichem Maasse eintritt, sterben die betreffenden Zellen ab [2]). Man kann also mit ausgehobenen Topfpflanzen von Nicotiana rustica, die man durch fliessendes Wasser von der Hauptmenge Erde befreit, oder mit Wasserculturen von Vicia Faba, Cucurbita pepo etc. jederzeit binnen kurzer Frist über den Gang des Transpirationsstromes auf die angegebene Weise Aufschluss erhalten und geben (Vorlesungsexperiment, Versuch im pflanzenphysiologischen Practicum).

---

1) 1 ‰ Eisenvitriol entspricht wegen des Krystallwassergehaltes dieses Salzes nahezu 1 $FeSO_4$: 2000 aq; man kann auch ganz gut noch weiter in der Verdünnung gehen, indem man 1 : 2000 anwendet oder sogar 1 : 5000.

2) Indem der Gerbstoff mit dem Eisenoxyd des oxydirten Eisenvitriols sich verbindet, wird Schwefelsäure frei, welche bei einiger Anhäufung die Zellen tödtet.

Versuche mit abgeschnittenen Pflanzentheilen sind trotzdem nicht als werthlos zu betrachten.

Wasserleitende Gewebe. Unter solchen verstehe ich Gewebe, welche dem Wasser unter dem Einfluss irgend welcher in der Pflanze vorkommender Triebkräfte (Imbibition, Luftdruck etc.) eine so rasche Bewegung gestatten, dass diese bei Deckung des Transpirationsverlustes in Betracht kommen kann. Es ist dabei zunächst nicht entscheidend, ob die betreffenden Gewebe als Wasserleitungswege in der lebenden unverletzten Pflanze wirklich benutzt werden. So werden die Gefässlumina und die dieselben nach Westermaier[1]) oft vertretenden Intercellulargänge in Gefässbündeln vermöge ihres Lumens und der darin gewiss leichter als sonst irgendwo möglichen Wasserbewegung von vornherein als Wasserwege vermuthet werden dürfen, wenn auch nicht festgestellt ist, dass diese wirklich eingeschlagen werden. Bezüglich mancher lebender Gewebe hat das Experiment mit abgeschnittenen transpirirenden Pflanzentheilen ergeben, dass sie als Wasserwege dienen können, ohne dass wir daraus ohne Weiteres folgern dürften, dass sie auch für den Transpirationsstrom unter normalen Umständen in Betracht kommen.

Als wasserleitendes Gewebe in jenem Sinne lassen sich die Gefässe ohne Weiteres bezeichnen, da ihr weites, continuirliches[2]) Lumen eine verhältnissmässig leichte Wasserbewegung gestattet. Ob das Wasser auch in der Gefässwandung raschen Fortgang haben kann, ist eine Frage, die erst experimentell entschieden werden muss; als treibende Kraft kann hier wohl nur die Imbibitionskraft in Betracht kommen, während die Bewegung im Gefässlumen durch den Luftdruck zu Stande kommen kann. Dass eine Bewegung des Wassers in den Gefässwänden möglich ist, geht zum Theil schon aus den Wiesner'schen Versuchen[3])

1) Untersuchungen über die Bedeutung todter Röhren und lebender Zellen für die Wasserbewegung in den Pflanzen, Sitzungsber. d. Berliner Akademie 1884, p. 597—609.

2) Continuirlich, so lange keine Thyllenbildung eingetreten ist; siehe über diese Bildungen M. Reess, Bot. Ztg. 1868. Ueber die Resorption der Querwände an den Gefässen siehe: H. Solereder, Ueber den systematischen Werth der Holzstructur bei den Dicotyledonen, München 1885.

3) Untersuchungen über die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in der Membran der Pflanzenzelle, Sitzungsber. d. K. Wiener Akad., Bd. 72, p. 395.

mit Holzcylindern, deren Gefässlumina mit Asphaltlack völlig injicirt waren, hervor; solche trockneten ebenso rasch als nicht-injicirte, woraus erhellt, dass das Wasser auch in den Zellwänden leicht wandert, wenn auch hier ausser den Gefässwandungen noch die der Nichtgefässe (Prosenchym, Parenchym) in Betracht kommen. Aus meinen Versuchen geht hervor, dass die Gefässe vorzüglich leiten (Cucurbita, Humulus Lupulus, Nicotiana rustica etc.). Da man gewöhnlich bei Versuchen mit abgeschnittenen Zweigen das Eisen ausschliesslich in der Gefässwand vorfindet, nicht im Lumen, steigt das eisenhaltige Wasser hierbei wohl in der Wand empor, so dass dieser auch auf Grund solcher Experimente Leitungsfähigkeit für Wasser zugesprochen werden muss.

Hinsichtlich der Tracheiden braucht nur an die Versuche mit Coniferen erinnert zu werden, um zu beweisen, dass sie zu den leitenden Gewebeformen zählen. Bei Coniferen besteht fast das ganze Holz aus diesen Elementen; wenn nun Experimente mit abgeschnittenen transpirirenden Zweigen zeigen, dass das Eisen des zum Aufsaugen dargebotenen Wassers nach kurzer Zeit in ganzen Holzringen sich reichlich vorfindet bis hinauf zur Spitze des vielleicht 1 Meter langen Zweiges, so ist klar, dass die Tracheiden hier wasserleitende Organe sind.

Da die Tracheiden im Lumen Wasser und Luft führen, wie R. Hartig gezeigt hat, so braucht nicht weiter bewiesen zu werden, dass eine Wasserbewegung im Lumen dieser Organe möglich ist; wenn man etwa aus der Geschlossenheit derselben Zweifel ableiten wollte, so sind dieselben durch den Hinweis auf die Zartheit der Membran an den hofgetüpfelten Stellen zu beseitigen. Dass aber auch die dicke Wand derselben eine rasche Fortleitung gestattet, scheint mir aus meinen Versuchen mit abgeschnittenen Zweigen verschiedener Coniferen hervorzugehen, wo vielfach die Holzwände ausschliesslich Eisengehalt zeigten, während das Lumen eisenfrei war. Wenn sich das Eisen auch im Lumen vorfindet, lässt sich natürlich aus dem Eisengehalt der Zellwände nicht schliessen, dass das Wasser in diesen emporgestiegen sei, da ja die Wände von der im Lumen befindlichen Flüssigkeit Eisen (und Wasser) bezogen haben könnten.

Hinsichtlich der Holzprosenchym- und Holzparenchymzellen ist eine Entscheidung schwerer zu treffen, da sie niemals

allein das Xylem zusammensetzen und somit der Zweifel möglich ist, dass sie bei Versuchen mit eisenhaltigem Wasser den Eisengehalt, der ja bei beiden in den Wänden häufig genug angetroffen wird, von den Gefässen bezogen haben könnten; sie sind diesen so nahe, dass ihre Wände auch bei geringem Wasserleitungsvermögen von da imbibirt werden könnten; insbesondere kommen die Parenchymzellen in directer Angrenzung an die Gefässe vor und lassen somit eine experimentelle Entscheidung der Frage wohl nicht zu. Für das Leitungsvermögen der Holzprosenchymzellen lässt sich eine Beobachtung bei Humulus Lupulus geltend machen, wo die sehr dickwandigen Holzfasern häufig Bündel bilden, welche von den Gefässen allseitig durch Parenchym getrennt sind. Wenn nun solche Bündel starken Eisengehalt in den Wänden zeigen, die zwischen ihnen und den Gefässen liegenden Parenchymzellen völlig frei davon sind, so ist klar, dass das eisenhaltige Wasser in den Holzfasern emporgestiegen ist.

Das Sklerenchym hat sich bei meinen Versuchen des Oefteren als leitendes Gewebe erwiesen und somit die Fähigkeit experimentell erkennen lassen, welche ihm v. Sachs aus theoretischen Gründen zugeschrieben hat (Nicotiana, Pisum, Amarantus, Helleborus, Canna). Dass die Wanderung hier ausschliesslich in der Zellwand stattfindet, kann wohl keinem Zweifel unterliegen, da bei diesem Gewebe die Lumina nur in geringer Communication stehen und die Wand oft fast den ganzen Durchmesser der Zelle einnimmt; das Experiment hat ausserdem immer die Zellwand als den Sitz des eisenhaltigen Wassers zu erkennen gegeben.

Aehnlich verhält es sich bezüglich des Collenchyms. Es hat sich in vielen Fällen als wasserleitungsfähig erwiesen (Amarantus, Sinapis, Phlomis, Rumex, Melianthus, Corydalis, Rheum, Pelargonium etc.); der Sitz des Eisens war die Zellwand.

Bisweilen finden sich im Phloëm (exclusive Sklerenchym) Elemente vor, deren Wände das Wasser leiten (Ampelopsis u. a.). Dass sie dasselbe selbstständig leiten und nicht etwa aus dem Xylem empfangen, geht daraus hervor, dass sie oft bei meinen Versuchen durch eisenfreies Gewebe vom Holzkörper getrennt gefunden wurden. Welcher Gewebeform diese Zellen angehören, habe ich bis jetzt nicht näher festgestellt.

Die physikalische oder chemische Beschaffenheit, von der es herrührt, dass die Zellwand im einen Fall leitet, im andern nicht, ist unbekannt. Mit der Verholzung scheint sie nicht zusammenzuhängen, da einerseits viele nicht verholzte Membranen leiten (Collenchymgewebe, einzelne Phloëmpartieen), andererseits zahlreiche stark verholzte Zellwände dem Wasser absolut keinen Fortgang gestatten (Kernholz[1]) leitet nicht; das Mark giebt oft starke Verholzungsreaction und ist dabei gänzlich unfähig, das Wasser zu leiten).

Welche Gewebe an der lebenden unverletzten Pflanze die Wasserleitung übernehmen, ist durch einige der aufgeführten Versuche experimentell festgestellt worden, da ja der Eisenvitriol in der That in vielen Fällen mit dem zur Transpiration bestimmten Wasser in die unverletzten Wurzeln eindringt und von da zu den Blättern emporsteigt (bei Nicotiana rustica binnen $^3/_4$ Stunden bis zu 1 Meter Höhe).

Sicher wandert der Transpirationsstrom in vielen Fällen in den Gefässen, was z. B. bei Nicotiana und Cucurbita in unzweifelhafter Weise daraus hervorgeht, dass in den oberen Stengeltheilen die Gefässwände allein eisenhaltig gefunden wurden.

Wahrscheinlich steigt das Transpirationswasser auch in den Holzprosenchymzellen empor; denn man trifft bei Eisenvitriol-Versuchen mit transpirirenden ganzen Pflanzen öfters an Stengel-Querschnitten Gruppen von Holzprosenchymzellen an, welche von den Gefässen durch eisenfreies (Parenchym-) Gewebe allseitig getrennt sind.

Das Sklerenchym dient öfters auch als Wasserweg in den Pflanzen unter normalen Verhältnissen. So wurden bei Versuchen mit ganzen Topfpflanzen von Canna indica hauptsächlich die Wände der Sklerenchymbündel eisenhaltig gefunden; weitere Beweise ergeben sich aus den bei Nicotiana rustica, Cucurbita pepo und Pisum sativum angeführten, ferner aus den mit Amarantus gewonnenen Resultaten.

Im dünnwandigen Bast bewegt sich der Transpirationsstrom auch bisweilen normaler Weise, wie die Versuche mit Wasserculturen von Zea Mays lehren.

---

1) Dass junges und altes Holz sich sehr verschieden hinsichtlich des Wasserleitungsvermögens verhalten, haben R. Hartig's und Wieler's Versuche übereinstimmend dargethan (Litteratur in der Einleitung angegeben).

Dass auch das Collenchym[1]) an der lebenden unverletzten Pflanze als wasserleitendes Gewebe fungiren kann, geht aus den Versuchen mit Sinapis alba, Amarantus und Cucurbita pepo hervor; dasselbe gilt von der Epidermis (Amarantus).

Ursache des Saftsteigens. Eine von der Frage des Wasserweges nur theilweise zu trennende Frage ist die nach den Kräften, durch welche das Wasser gehoben wird. Dieselben sind in verschiedenen Theorieen des Saftsteigens, wie der Capillartheorie, ferner der Imbibitionstheorie von Sachs, Luftdrucktheorie von J. Böhm, Gasdrucktheorie von R. Hartig, Saug- und Druckpumpentheorie von Godlewsky und der Klettertheorie von M. Westermaier gemuthmaasst worden. Wie weit die physikalischen Möglichkeiten in dieser Hinsicht gehen, hat besonders Schwendener[2]) eingehend erörtert[3]).

Ich möchte mich aber hier mit dem Hinweis begnügen, dass zuerst die Bahnen des Transpirationsstromes genau bekannt sein müssen, ehe eine umfassende Erledigung der Frage nach den Kräften möglich ist, durch welche das Wasser in die Höhe getrieben wird. Vorstehende Zeilen sollen hauptsächlich dazu beitragen, das thatsächliche Material in der Wasserleitungsfrage und die experimentellen Wege zu deren Lösung zu vermehren; zugleich ergiebt sich von selbst aus der Thatsache des Saftsteigens im Sklerenchym und Collenchym, dass die Sachs'sche Imbibitionstheorie zur Erklärung des Phänomens herangezogen werden muss.

1) Nach H. Ambronn (Ueber die Entwickelungsgesch. und die mechan. Eigenschaften des Collenchyms, in Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 473—537) färben sich die Wandungen des Collenchyms mit Chlorzinkjod stets hellblau, bleiben aber ungefärbt bei Einwirkung von Phloroglucin und Salzsäure.

2) Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1886, Untersuchungen über das Saftsteigen.

3) Vergl. auch A. Zimmermann, Zur Kritik der Böhm-Hartig'schen Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze, Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1883; und zur Godlewsky'schen Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze, ebenda 1885. Ferner: C. A. Weber, Ueber die Leitung des Transpirationsstromes, ebenda 1885. In allerletzter Zeit (ebenda 1889) hat J. Böhm auf Grund neuerer Experimente die Ueberzeugung gewonnen, dass das Saftsteigen durch Capillarität erfolgt.



Weitere Mittheilung über die wasserleitenden Gewebe.

Von

Th. Bokorny.

Um einzelne Fragen der Wasserleitung in den Pflanzen noch eingehender zu studiren, experimentirte ich mit Myriophyllum proserpinacoides, einer reizenden Wasserpflanze, welche in grossen Massen leicht zu erhalten ist, da sie im Aquarium, wenn einmal da, unkrautartig sich vermehrt. Ihre schwimmenden, zierlich beblätterten Stengel wachsen rasch in die Länge, bewurzeln sich da und dort und bedecken, wenn nicht Einhalt gethan wird, bald das ganze Bassin als eine ziemlich dichte, lebhaft grüne Decke. Man könnte glauben, dass diese Pflanze, da sie als Wasserpflanze wenig transpirirt und in Folge dessen geringe Wasserbewegung hat, sich nicht zu Versuchen über Transpiration eigne. Indess überzeugte ich mich bald, dass letztere sehr beträchtlich wird, wenn man die beblätterten Stengel von der Wasseroberfläche durch Emporheben etwas entfernt oder die feuchte Luft über der Wasseroberfläche durch Bedecken von den transpirirenden Organen fern hält und nur trockene Luft zulässt. So behandelte Myriophyllum-Pflanzen transpiriren stark und welken ungemein rasch, wenn ein gewisses Maass der Trockenlegung überschritten wird. Da die langen Stengel[1]) an jedem Knoten

---

1) Die oft bedeutende Länge der Stengel erlaubt auch Bestimmungen des von dem Transpirationsstrom innerhalb längerer Zeiträume zurückgelegten Weges.

Wurzeln zu produciren fähig sind, kann man mit abgeschnittenen Pflanzen, als ob sie ganz wären, operiren, indem man bewurzelte Stengel abschneidet und die Schnittfläche verschliesst, so dass das Wasser nur durch die Wurzeln eintritt. Unterlässt man dies, so geht ein Theil des Transpirationswassers, oder für den Fall, dass man wurzellose Stengelstücke genommen hat, die ganze Menge durch die Schnittfläche in die Pflanze hinein. Durch Zusatz einer Spur Eisenvitriol (1 ‰) wird der Weg des Transpirationsstromes in der lebenden Pflanze leicht nachweisbar, wie ich in vorausgehendem Aufsatze berichtet habe, so dass hiermit die Möglichkeit gegeben ist, über die Wasserwege, welche bei verschiedenen Bedingungen — natürlichen und künstlichen — eingeschlagen werden, etwas zu erfahren.

Hinsichtlich der Anatomie von Myriophyllum proserpinacoides sei nur kurz bemerkt, dass unter der kleinzelligen Epidermis collenchymatisch ausgebildetes Gewebe sich befindet, welches rasch in das sehr grosszellige grüne Rindenparenchym übergeht; letzteres bildet auch die Wände der zahlreichen grossen Luftkanäle, welche in regelmässiger (auf dem Querschnitt kreisförmiger) Anordnung den Stengel durchziehen. Der relativ kleine centrale Theil, welcher von den Luftkammern umschlossen wird, besteht aussen aus einigen Lagen parenchymatischen grünen Gewebes, woran sich eine den Gefässbündeltheil umschliessende Endodermis reiht. Das Bastgewebe bildet anscheinend einen geschlossenen Ring, dessen an die Endodermis grenzender Theil ziemlich beträchtlich verdickte, fast collenchymatische Wandungen erkennen lässt. Die Gefässe stehen in 4—6 kreisförmig geordneten Gruppen von je 6—10, von aussen nach innen an Grösse abnehmend, beisammen; es sind Treppen- und Spiralgefässe. In den Zwischenräumen sind einzelne kleinere Gefässe vorhanden, desgleichen im Mark eingestreut sehr kleine gewöhnlich ringförmig verdickte Tracheen. Die Gefässgruppen enthalten ausserdem Holzparenchym. Das unechte Mark besteht aus lebenden, spärlich chlorophyllführenden Zellen, welche in der Richtung der Längsachse stark gestreckt sind[2]). Die Verholzungsreaction mit Indol und

1) Die Anatomie und Entwicklungsgeschichte von Myriophyllum spicatum wurde von H. Vöchting beschrieben in den Verh. d. K. Leop. Akad. 1873.

Schwefelsäure ergiebt, dass nur die Wände der Gefässe verholzt sind und diese häufig nicht stark.

Die Gefässe enthalten Wasser und Luft[1]), welch letztere in Form von mehr oder weniger grossen Luftblasen leicht gesehen werden kann, wenn man einen Stengel, ohne ihn abzuschneiden, aus dem Wasser hebt und von zwei gegenüberliegenden Seiten an irgend einer Stelle das äussere Gewebe bis auf den centralen Gefässbündeltheil entfernt; mit der Lupe bemerkt man dann die Luftblasen in den Gefässen sehr deutlich. Schneidet man den Stengel ab, so braucht man nur das Schnittende von 2 Seiten ohne Verletzung des Gefässbündeltheiles zuzuspitzen, um mit der Lupe ebenfalls die Luftblasen wahrzunehmen. Die Untersuchung unter dem Mikroskop ergibt dasselbe Resultat — Wasser und Luftblasen im Hohlraum der Gefässe.

Bezüglich des Gefässbündelverlaufes bei Myriophyllum, der bekanntlich Abnormitäten zeigt, sei auf die Arbeiten von Vöchting und Anderen, wie auf De Bary's Zusammenstellung im Handbuch d. vergl. Anat. verwiesen. Für die hier zu beantwortenden Fragen ist es nur von Belang, dass die wasserleitenden Gewebe (Gefässe, Bastzellen etc.) durch den ganzen Pflanzenkörper hindurch zusammenhängen; wie sie verbunden sind, erscheint als etwas von untergeordneter Bedeutung. Die Continuität aber der später zu bezeichnenden Gewebe unterliegt keinem Zweifel.

Nachstehende Versuche mit abgeschnittenen Zweigen von Myriophyllum proserpinacoides wurden mit Rüchsicht auf folgende Fragen angestellt: 1) Wie rasch vermögen die einzelnen wasserleitenden Gewebe das Wasser zu leiten? 2) Durch welche Mittel wird das Wasserleitungsvermögen aufgehoben oder beeinträchtigt? 3) Steigt das Wasser in der Gefässwand empor? 4) Welche Resultate ergeben sich bei Versuchen mit Farbstofflösungen und mit Ferrocyankalium?

Je nachdem es dem verfolgten Ziele angemessen schien, wurde der Versuch so angestellt, dass das dargebotene eisenhaltige Wasser lediglich durch die Schnittfläche des abgeschnittenen Zweiges ein-

---

1) Nach Schwendener ist dies in der Regel auch bei anderen Pflanzen der Fall.

treten konnte; oder derart, dass der Eintritt nur durch unverletzte Wurzeln, nicht durch das Schnittende stattfinden konnte; bisweilen wurden auch beide Arten der Wasserversorgung vereinigt[1]).

---

1. Relatives Wasserleitungsvermögen der einzelnen Gewebe.

Versuche mit abgeschnittenen wurzellosen Stengeln. Die Pflanzen wurden in bestimmter Entfernung hinter dem aufsteigenden Gipfel abgeschnitten[2]) und in ein mit 0,3 procentiger Eisenvitriollösung halb angefülltes Reagensröhrchen so gestellt, dass nur die unteren 2—3 Centimeter des Stengels eintauchten, die übrige Pflanze in die Luft ragte. Um die Transpiration zu beschleunigen, wurden die Versuche in 25—30° warmer ziemlich trockner Luft aufgestellt. Hierbei zeigte sich, dass die Pflanzen sehr rasch Wasser aufnahmen und bis zu beträchtlicher Höhe aufsteigen liessen. Werden die Versuche schon nach $^1/_4$ Stunde unterbrochen, nach welcher Frist die Pflanzen noch ganz frisch erscheinen, so findet man das Eisen des aufgenommenen Wassers häufig bis zu 20 cm über der Schnittfläche vor. Währt der Versuch 1 Stunde, so welkt die Pflanze oft, enthält aber nun noch in einer Höhe von 80 cm über der Schnittfläche Eisen.

Als leitende Gewebe scheinen bei Myriophyllum proserpinacoides hauptsächlich zwei Gewebe in Betracht zu kommen, nämlich die Gefässe und der äussere (collenchymatische?) Theil des Bastes. Alle von der Endodermis nach aussen liegenden Gewebe einschliesslich der Endodermis kommen hinsichtlich der Wasserleitung nicht in Betracht, mit eventueller Ausnahme von Epidermis und Collenchym; denn in ihnen steigt das Wasser binnen drei Stunden kaum einige Zellschichten hoch. Die Gefässe zeigen das stärkste Leitungsvermögen; in ihnen findet sich das eisenhaltige Wasser allein

1) Durch die mit dem Wasser in Berührung befindliche Stengelepidermis dringt kein Wasser ein; die Reaction auf Eisen mit Ferricyankalium tritt bei Versuchen mit abgeschnittenen und einige Centimeter tief eingetauchten Stengeln in der Epidermis des eingetauchten Theiles nicht ein, soweit sie nicht gerade an der Schnittfläche liegt.

2) Unter Wasser.

vor, wenn man die Stengel nahe dem Gipfel untersucht; hierbei ist aber sehr wohl zu beachten, dass die Blaufärbung der Wände mit Ferricyankalium erst eintritt, wenn man noch etwas Salzsäure hinzufügt und einige Zeit wartet; unterlässt man diese Vorsicht, so gewinnt man leicht den irrigen Eindruck, als sei in den Gefässen kein Eisen enthalten. Bei einem 1stündigen Versuch mit einem 90 cm hohen beblätterten Stengel zeigten sich die Gefässwände noch 80 cm über der Schnittfläche stark eisenhaltig; die Wände des äusseren Bastes waren bei 80 cm eisenfrei, bei 70 cm Höhe noch deutlich eisenhaltig. Man könnte glauben, dass der Eisengehalt des Bastes durch transversale Leitung von den Gefässen her einwandere und somit eine derart enorme Wasserleitungsfähigkeit, wie sie aus angeführtem Versuchsergebniss sich anscheinend ergibt, nicht angenommen zu werden braucht. Hiergegen spricht aber die Thatsache, dass der (innere) Bast in der unmittelbaren Umgebung des Gefässtheiles gewöhnlich eisenfrei ist und der Eisengehalt der Wände von innen nach aussen zunimmt. Wäre das Eisen von den Gefässen her eingewandert, so müsste offenbar das Umgekehrte stattfinden. Hinsichtlich des (unechten) Markes konnte hier keine so totale Leitungsunfähigkeit constatirt werden, wie gelegentlich bei früheren Versuchen mit anderen Pflanzen; es erwies sich meist eisenhaltig in den Zellwänden; doch möchte ich glauben, dass dasselbe von den Gefässen stamme, da die Blaufärbung von den äusseren Theilen des Markes gegen das Centrum hin allmählich abzunehmen scheint und niemals so intensiv ist wie in Bast und Gefässtheil.

Hinsichtlich des absoluten Leitungsvermögens scheinen die Gefässe von Myriophyllum proserpinacoides hinter anderen ein wenig zurückzustehen. So leiten die Gefässe von Nicotiana rustica das Wasser binnen $^3/_4$ Stunden 1 Meter weit fort.

Versuche mit abgeschnittenen bewurzelten Stengeln. Hier zeigen sich dieselben Gewebe als wasserleitend, welche auch bei unbewurzelten, bloss an der Schnittfläche aufnehmenden Pflanzen die Fortleitung des Wassers besorgen. Zu jenen Geweben des centralen Gefässbündelstranges kommen aber hier noch Epidermis und Collenchym häufig als wasserleitende Gewebe hinzu; sie nehmen oft intensiv blaue Färbung in den Wandungen an, wenn die bewurzelten Stengel in eisenhaltigem Wasser gelegen haben und Quer-

schnitte durch dieselben mit Ferricyankalium behandelt werden[1]). Von Interesse ist die Thatsache, dass Versuche mit bewurzelten Stengeln zu den nämlichen Resultaten hinsichtlich des Ortes der Wasserleitung führen, ob die Schnittfläche offen gelassen oder verschlossen wird; ein genügend dichter Verschluss kann dadurch hergestellt werden, dass man die Schnittfläche mit Vaselin verstreicht und dann einen am andern Ende verschlossenen Gummischlauch darüberstülpt; hierbei dringt keine Spur (eisenhaltiges) Wasser durch die Schnittfläche ein.

Um erwähnte Thatsachen zu constatiren, braucht man nur bewurzelte Stengel unter Wasser abzuschneiden und zum Theil an der Schnittfläche zu verschliessen, zum Theil offen in das eisenhaltige Wasser zu legen, das sich bei solchen Versuchen am besten in grossen weiten Schalen befindet, so dass die Wurzeln sämmtlich eintauchen und der Stengel in natürliche Lage (horizontal über dem Wasser) gebracht werden kann. Die Transpiration wird natürlich dadurch verlangsamt, da so die transpirirenden Organe grösstentheils in sehr feuchter Luft sich befinden. Immerhin aber findet an den fast senkrecht in die Höhe gerichteten und dadurch ziemlich weit über die Wasseroberfläche gehobenen Stengelenden erhebliche Transpiration statt, so dass man nach einigen Stunden den Transpirationsstrom in der ganzen Pflanze nachweisen kann, wenn man dem aufgenommenen Wasser eine Spur Eisenvitriol zugesetzt hat.

Der Wasserstrom, welcher durch die Transpiration hervorgerufen wird, schlägt also dieselben Bahnen ein, ob nun die transpirirende Pflanze ganz ist und lediglich durch die Wurzeln aufnimmt, oder angeschnitten ist und auch durch die Schnittfläche aufnehmen kann[2]), eine Thatsache, die in methodischer Beziehung von Interesse sein dürfte; denn vielfach wurden ja die Wasserleitungsexperimente bis jetzt an abgeschnittenen Pflanzentheilen gemacht.

Inwiefern das Vorhandensein von Wurzeln an abgeschnittenen

---

1) Die Cuticula bleibt frei von Eisen und leitet also nicht, wie schon von vornherein zu erwarten.

2) Dasselbe Resultat ergab sich auch bei früher von mir mit andern Pflanzen angestellten Versuchen (siehe vorangehenden Aufsatz: „Die Wege des Transpirationsstromes in der Pflanze").

Myriophyllumstengeln bestimmend ist für die Mitwirkung von Epidermis und Collenchym an der Wasserleitung, lässt sich nur vermuthen. Beide Gewebe kommen nämlich viel ausgiebiger mit dem Wasser in Berührung, wenn die bewurzelten Pflanzen horizontal auf Wasser gelegt werden, indem nun das Wasser an den zahlreichen Durchbruchsstellen der Wurzeln in die Rindengewebe eindringen kann; bei Versuchen mit wurzellosen Pflanzen findet Berührung von Epidermis und Collenchym mit dem aufsaugenden Wasser nur an der Schnittfläche statt.

Hinsichtlich der relativen Geschwindigkeit der Wasserbewegung in den einzelnen Geweben ergaben sich auch dann, wenn die Wasseraufnahme ausschliesslich durch die Wurzeln erfolgte, die grössten Zahlen für die Gefässe, hinter welchen aber die (collenchymatischen) Bastzellen nicht weit zurückblieben; das Rindencollenchym und die Epidermis scheinen erheblich langsamer zu leiten. Macht man rechtzeitig Schnitte von der zum Experiment verwendeten Pflanze, so findet man leicht Stengelstücke (gegen die Stammspitze zu) vor, welche lediglich in Gefässen Eisen enthalten und mit salzsäurehaltigem Ferricyankalium scharf auf die Gefässwände beschränkte Blaufärbung geben; ferner weiter unten solche, die in den Gefässen und im äusseren Bast wie auch in dem an die Gefässgruppen angrenzenden Theile des unächten Markes Eisen enthalten. An gewissen Stellen trifft man ausserdem noch Epidermis- und Collenchym-Wandungen eisenhaltig an.

Die absolute Geschwindigkeit des Wasserstromes ist bei dieser Art der Versuchsanstellung natürlich eine viel geringere, da die Pflanzen in sehr feuchtem Raume (über der Wasseroberfläche) sich befinden; man kann oft 12 Stunden warten müssen, um das Eisen in allen Theilen der Pflanzen vorzufinden.

---

2. Veränderung des Wasserleitungsvermögens durch verschiedene Mittel.

Schwefelsäure: Myriophyllumstengel, welche mit dem abgeschnittenen Ende 5 Minuten in concentrirter Schwefelsäure verweilt haben, zeigen dieses Ende mehr oder weniger ge-

schwärzt (verkohlt). Werden sie nun nach dem Abwaschen der Schwefelsäure in eisenhaltiges Wasser bei günstigen Transpirationsbedingungen gebracht, so steigt das Eisen oft noch bis zu einer verhältnissmässig beträchtlichen Höhe empor; bei 15 cm Höhe konnte ich im Gefässbündeltheil nach $^3/_4$ Stunden noch reichlich Eisen nachweisen; freilich war dieses in derselben Zeit bei einem gleichzeitig aufgestellten Controlversuch mit frischen Zweigen 50 cm hoch gestiegen; in letzterem Falle blieben die Zweige frisch, in ersterem waren sie welk. Dass durch Schwefelsäure abgestorbene leitende Gewebe nicht sofort ganz leitungsunfähig werden, geht auch schon aus dem raschen Fortschreiten des Absterbeprocesses in jenen hervor. Nach 5 Minuten langem Eintauchen des Schnittendes zeigt sich das ausserhalb der Endodermis gelegene Gewebe nur auf etwa 6 mm Entfernung von der Schnittfläche abgestorben; das Gewebe, welches innerhalb derselben liegt, bis zur Höhe von 2 cm. Während in ersterem das Emporsteigen der Säure durch Diffussion vor sich geht — von den abgestorbenen unteren Zellen zu den nächst höheren — und demgemäss langsam, eilt sie in den leitenden Geweben rasch voran, indem hier noch die saugende Kraft der Transpiration mitwirkt und das Vermögen, jener Triebkraft Folge zu leisten, durch den Einfluss der Säure nicht ganz zerstört worden ist. Nach einstündiger Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf das Schnittende bei sehr günstigen Transpirationsbedingungen findet man das centrale Gewebe sogar bis zur Höhe von 12 cm abgestorben und von stark saurer Reaction, ein Zeichen, dass die Schwefelsäure so hoch gestiegen. Die Leitgewebe leiten also noch nach Schwefelsäurebehandlung, aber nur etwa ein Sechstel so stark, wie die lebenden Gewebe, wenn man annimmt, dass Schwefelsäure wie Eisenvitriol mit dem Wasser gleichen Schritts emporsteigt.

Verdünnte Schwefelsäure (10 %) vermindert ebenfalls das Wasserleitungsvermögen, aber nicht in so beträchtlichem Grade wie concentrirte. Während nach 5 Minuten langer Einwirkung der letzteren und darauf folgender 1stündiger Transpiration in 30° warmer trockner Luft bei Zutritt von eisenhaltigem Wasser das Eisen nur 20 cm über der aufsaugenden Schnittfläche noch nachzuweisen war, fand es sich bei einer ebenso aber mit 10procentiger Schwefelsäure behandelten Pflanze 30 cm über dem Schnittende vor, beide Male

in der centralen Gefässbündelmasse. Beide Versuchspflanzen waren bald welk geworden, ein Zeichen, wie ungenügend solche Wasserzufuhr war.

Durch 5 Minuten langes Einstellen des Schnittendes in Wasser von 95° wird das Wasserleitungsvermögen der centralen Gewebe ebenfalls herabgesetzt, wie darauf folgende Versuche mit eisenvitriolhaltigem Wasser lehrten. Nach 1stündiger starker Transpiration war das Eisen 30 cm über der Schnittfläche eben noch schwach im centralen Gewebe nachzuweisen, 20 cm über der Schnittfläche aber reichlich vorhanden[1]).

Durch Verkohlen des Schnittendes in der Gasflamme wird das Leitungsvermögen verhältnissmässig wenig herabgesetzt, so dass nachher dargebotenes eisenhaltiges Wasser bei günstigen Transpirationsbedingungen binnen einer halben Stunde 30 cm hoch steigt, also fast die normale Steighöhe erreicht wird. Die Versuchspflanzen bleiben dabei turgescent, ein Zeichen, dass unter solchen Umständen die Wasserzufuhr hinreicht, um den Transpirationsverlust zu decken. Durch Verkohlen der Gewebe wird also kein so erheblicher Verlust des Leitungsvermögens herbeigeführt, wie durch Einwirkung von Schwefelsäure. Man könnte zwar sagen, dass die Verkohlung nur das Schnittende selbst betrifft, während durch Schwefelsäure, indem diese aufgesaugt wird, das Wasserleitungsgewebe auf weite Strecken hin sich verändert. Doch dürfte dieses Moment wenig in Betracht kommen, da ja die Steighöhe ebenso stark verringert werden muss, wenn die Wasserströmung nur an einer kurzen Strecke etwa auf die Hälfte verlangsamt wird, als wenn dies auf einer längeren Strecke geschieht. Wenn sich Wasser durch eine Kautschuk-Röhre bewegt, so kann man die Geschwindigkeit desselben ebenso stark vermindern, indem man das Lumen durch Compression nur an einer Stelle auf die Hälfte herabsetzt, als wenn man dies an mehreren Stellen thut.

Natronlauge: Wenn man einen abgeschnittenen Stengel von Myriophyllum proserpinacoides 5 Minuten in Natronlauge von 30% mit dem abgeschnittenen Ende stellt, so ergiebt sich Folgendes:

1) J. Böhm (Ber. d. d. bot. Gesellsch. 1889, Generalvers.-Heft) berichtet, dass Pflanzen, deren Wurzeln oder unteres Ende gekocht wurde, ihren Transpirationsbedarf noch einige Zeit decken können.

Der in die Lauge eintauchende Theil wird natürlich durch die Einwirkung des Natrons völlig schlaff und hängt als collabirte weiche Masse an dem noch turgescirenden nicht eingetauchten Stengel an. Wäscht man das Natron gut ab und stellt den Zweig mit dem Schnittende in eisenhaltiges Wasser, so steigt das Eisen nicht empor, selbst nicht unter sehr günstigen Transpirationsbedingungen. Die Pflanze welkt rasch und enthält selbst 2 mm über dem Schnittende keine Spur Eisen, weiter oben natürlich ebenfalls keines. Doch dürfte dies Resultat nicht ganz auf die Natroneinwirkung zurückzuführen sein, sondern zum Theil auf eine Verstopfung der Gewebe durch ausfallendes, sehr fein vertheiltes Eisenhydroxydul; denn das Natron lässt sich schwer durch Abwaschen völlig entfernen; es steckt in den Geweben und fällt die Eisenlösung aus, sowie sie eindringt; zum Theil auch auf die Entfernung des Eisens aus dem zur Transpiration nachrückenden Wasser, da die genannte Ausfällung eine ziemlich vollständige ist. Dass die durch Natron abgetödteten Leitgewebe noch leiten, geht wiederum aus der Art des Vordringens der Lauge hervor; sie steigt in dem innerhalb der Endodermis gelegenen Gewebe viel rascher als in dem äusseren, wie man leicht mit Curcumapapier nachweisen kann; letzteres wird bei höher gelegenen Durchschnitten nur mehr braun, wenn man das Papier auf den centralen (Gefässbündel-) Theil des Stengels hält. Noch klarer wird der Unterschied, wenn man den frisch (mit dem Rasirmesser) durchschnittenen Stengel mit der Schnittfläche auf das Curcumapapier drückt; man erhält dann oft als Abdruck eine farblose breite äussere Ringzone mit braunem Punkt in der Mitte. Bei einem derartigen Versuch war das Natron innerhalb der Endodermis 5 cm hoch gestiegen, ausserhalb nur 2 cm (nach 5 Minuten) gestiegen. Bei einem 1 Stunde unter sehr günstigen Transpirationsbedingungen andauernden Versuche gab das centrale Gewebe noch 20 cm über der Schnittfläche deutliche alkalische Reaction, 25 cm über derselben nicht mehr. Wir sehen also, dass die Wasserleitungsgewebe, wenn sie durch 30procentige Natronlauge getödtet und gewiss total verändert worden sind, noch erheblich leiten, etwa ein Viertel so stark als im lebenden Zustande.

Wässerige Jod-Jodkaliumlösung steigt nur bis zu einer geringen Höhe in abgeschnittenen lebhaft transpirirenden Myrio-

phyllumpflanzen empor; nach 1stündiger starker Transpiration war die Versuchspflanze welk, das Jod nur bis zu 7 cm über der Schnittfläche nachzuweisen durch Gelbfärbung der Zellwände und Bläuung einer hinzugesetzten Stärkelösung. Indess wäre es wohl unrichtig, hieraus schon auf entsprechende Verminderung des Wasserzuleitungsvermögens zu schliessen; denn Jod wird in den Geweben chemisch gebunden und festgehalten (durch Stärke, verholzte Zellwände etc.) und bleibt hinter dem Lösungswasser möglicherweise weit zurück. Um hierüber Sicherheit zu erlangen, lässt man zweckmässig nach Einwirkung der Jodlösung und Abwaschen des Jods Eisenvitriollösung aufsaugen, und weist das Eisen dann mit einer Mischung von Ferro- und Ferricyankalium nach. So ergiebt sich in der That ein beträchtliches Leitungsvermögen der Gewebe nach Jod-Behandlung. Bei einem Versuch stieg das eisenhaltige Wasser in einem Stengel, der 5 Minuten lang mit der Schnittfläche in wässeriger Jodlösung gestanden hatte, binnen einer Stunde 30 cm hoch bei starker Transpiration; die Gefässe und die äusseren Bastzellen nahmen dort intensive Blaufärbung in den Wandungen an, als salzsäurehaltiges Ferricyankalium mit etwas Ferrocyankalium hinzugesetzt wurde.

---

3. Verhalten der Gefässwand.

Hinsichtlich der Betheiligung der Gefässwände an der Wasserleitung geben die plasmaerfüllten ebenfalls wasserleitenden Zellen im äusseren Bast gewisse Andeutung; denn bei diesen ist wohl kein anderer Weg möglich als der in den Zellwänden; thatsächlich findet sich das Eisen des aufgesaugten Wassers in diesen vor. So drängt sich mit Hinblick auf jene Bastzellen die Vermuthung auf, dass auch an den Gefässen die Wände wesentlich an der Wasserleitung betheiligt seien. Die directe Beobachtung an abgeschnittenen, in eisenhaltiges Wasser gestellten Zweigen bestätigt das; denn als Sitz des Eisens erweist sich nur die Gefässwand, nicht das Lumen, wenn man die Querschnitte nicht etwa unmittelbar über der aufsaugenden Fläche entnimmt. Untersucht man einen Zweig nach

$^1/_4$stündiger Transpiration in trockner warmer Luft, so findet man das Eisen bis zu beträchtlicher Höhe in den Gefässwänden vor, im Lumen dagegen schon 1 mm über der Schnittfläche Flüssigkeit[1]), welche mit Ferricyankalium keine blaue Farbe annimmt. Hier steigt also das Wasser in den Gefässwänden auf.

Stellt man an abgeschnittenen bewurzelten Zweigen die Verhältnisse der ganzen unverletzten Pflanze her, indem man die Schnittfläche mit Vaselin verschliesst, und lässt nun eisenhaltiges Wasser aufsaugen, so ergiebt sich wiederum die Gefässwand als der Sitz des Eisens zu erkennen.

Die directe Beobachtung bei Myriophyllum proserpinacoides weist also auf die Gefässwand als Wasserbahn hin.

---

4. Versuche mit Farbstofflösungen und Ferrocyankalium.

Lässt man Fuchsinlösung von transpirirenden Myriophyllumpflanzen, die mit der Schnittfläche in der Lösung sich befinden, aufsaugen, so erhält man qualitativ dieselben Resultate wie mit eisenhaltigem Wasser. Man nimmt zu diesem Behufe Lösungen, deren Rothfärbung auch bei starker Vergrösserung unter dem Mikroskop noch deutlich sichtbar ist, weil man sonst nur Zellen gefärbt sehen würde, welche den Farbstoff speichern. Da ferner die in den wasserleitenden Elementen vielfach eintretende Speicherung den Concentrationsgrad vermindert, wird es gut sein, von vornherein etwas stärkere Lösungen, als in anderer Hinsicht nöthig, anzuwenden. 1 $^0/_{00}$ Lösungen dürften bei Anwendung von Fuchsin diesen Anforderungen genügen. Man stellt sie am besten dadurch her, dass man die abgewogene Fuchsinmenge zuerst in einigen ccm Alkohol absolutus völlig löst und diese Lösung in die abgemessene Menge Wasser giesst. Lässt man so bereitete 1 $^0/_{00}$ Fuchsinlösung von abgeschnittenen Myriophyllumstengeln durch die Schnittfläche aufsaugen

1) In vielen Gefässlumina natürlich auch Luft, wenn das Gefäss gerade an der Stelle einer Luftblase durchschnitten ist.

unter Beschleunigung der Transpiration durch trockne warme Luft, so ist nach $^1/_4$ Stunde das Fuchsin in der centralen Gefässbündelmasse bis zu einer beträchtlichen Höhe vorgedrungen. Noch bei 10 cm Höhe über der Schnittfläche sind Gefässe und Bast stark gefärbt, bei 15 cm nur mehr die Gefässe; bei 20 cm zeigten auch diese nur theilweise (nur auf einer Seite) noch Fuchsin in den Wandungen. Das Lumen der Gefässe enthält nur in ganz geringer Höhe über der Schnittfläche rothe Flüssigkeit, weiter oben farblose.

Wässerige Methylgrünlösung von 1 : 1000 scheint sich ganz besonders unter den Farbstofflösungen zu Versuchen über den Gang des Transpirationsstromes zu eignen. Das Grün ist nach 1 Stunde bei günstigen Transpirationsbedingungen 80 cm über der Schnittfläche deutlich im Gefässtheil zu sehen, sowohl makro- als mikroskopisch, wenn man abgeschnittene Myriophyllumstengel in solche Lösungen stellt; die Gefässwände sind stark grün gefärbt, bei 60 cm auch die Wände des äusseren Bastgewebes.

Wässerige Nigrosinlösung von 1 : 1000 ergab wesentlich andere Resultate; der Farbstoff war nach 1 Stunde nur in den unteren 7 Centimetern des Stengels vorhanden; die Versuchspflanze welkte rasch. Der Sitz der Färbung waren die Gefässwände.

Vesuvin in 1 ‰ wässeriger Lösung stieg in gleicher Zeit und unter gleichen Bedingungen 5 cm hoch.

Bei 1stündigen Versuchen mit 1 ‰ wässeriger Safraninlösung waren die Gefässwände noch in der Höhe von 20 cm über der Schnittfläche schwach roth, bei 10 cm waren letztere stark, die Bastwände schwach roth.

Gentianaviolett, in 1 ‰ wässeriger Lösung angewandt, stieg binnen gleicher Frist nur $2^1/_2$ cm hoch.

1 ‰ wässerige Methylenblaulösung stieg bei Versuchen in trockner warmer Luft binnen $^1/_2$ Stunde nur bis zu 5 cm Höhe empor; dort war das Blau nur noch in den Gefässwänden zu sehen, weiter unten auch im Bastgewebe.

1 ‰ wässerige Cyanin- (d. i. Chinolinblau-) Lösung rückte in gleicher Zeit und unter gleichen Umständen 10 cm weit vor, und zwar ebenfalls in den Gefässen am weitesten. Bei 10 cm Höhe waren lediglich die Gefässwände deutlich gefärbt, bei 5 cm ausser-

dem das Bastgewebe. Um den Farbstoff in die gewünschte wässerige Auflösung zu bringen, löst man denselben wiederum zuerst in wenig Alkohol und giesst diesen in die abgemessene Wassermenge.

Wässerige Eosinlösung von 1 : 1000 war nach $^{1}/_{2}$ Stunde 30 cm über der Schnittfläche noch deutlich in den Gefässwänden und im Bast wahrzunehmen. Eosin scheint mit dem Transpirationsstrom leicht zu wandern.

Wie ungleich sich Farbstofflösungen bei derartigen Versuchen verhalten, geht aus dem Vergleich genannter Farbstoffe klar hervor; letztere werden offenbar in verschiedenem Maasse von den leitenden Geweben absorbirt, daher der Unterschied. Immerhin passiren auch manche Farbstoffe die Wasserleitungsbahnen mit beträchtlicher Geschwindigkeit, und tritt ein Gegensatz zwischen leitenden und nicht leitenden Geweben bei all den genannten Farbstoffen hervor. Die ausserhalb der Endodermis gelegenen Gewebe zeigten bei meinen Versuchen immer schon unmittelbar über der Schnittfläche keinen Farbstoff mehr.

Wenn Farbstoffe zu Versuchen über den Transpirationsstrom angewendet werden sollen, etwa bei Vorlesungen, so dürfte sich Methylgrün in wässeriger Lösung besonders empfehlen.

Versuche mit Ferrocyankaliumlösungen von 1:1000 ergaben auffallend ungünstige Resultate; nach 1 stündiger Versuchsdauer bei sehr günstigen Transpirationsbedingungen war das Ferrocyankalium ganze 2 cm mit dem Transpirationsstrom emporgestiegen; es liess sich nur bis zu dieser Höhe in den Gefässwänden mit Eisenchlorid nachweisen, mit dem es doch sehr empfindliche Reactionen giebt.

Mit ferrocyankaliumhaltigem Wasser hat auch H. Hoffmann[1]) vor 40 Jahren experimentirt in der Weise, dass ganze Pflanzen damit begossen wurden, was als natürliches Verfahren besonders geschätzt werden muss. Da aber die mit Ferrocyankalium erhaltenen Resultate vielfach abnorm sind, ergeben sich schon hieraus Bedenken gegen die Methode. So wurde beispiels-

---

1) Bot. Ztg. 1850; die Probe wurde mit Eisenchlorid gemacht, welches mit Ferrocyankalium Blaufärbung giebt. Unger hat Ferrocyankaliumlösungen später auf abgeschnittene Pflanzentheile unter Druck angewendet.

weise bei keiner der untersuchten monocotylen Pflanzen Ferrocyankalium in den Gefässen vorgefunden, die doch sicherlich wasserleitende Organe sind. Bei dicotylen Holzpflanzen wurde allerdings festgestellt, dass die Tracheen das Wasser leiten und zwar die des jungen Holzes. Ferner war das Ferrocyankalium gewöhnlich erst nach mehreren Tagen oder auch Wochen im Stengel der Versuchspflanzen nachzuweisen, während doch der Transpirationsstrom viel rascher geht. Der Anwendung des Ferrocyankaliums scheint der Umstand entgegenzustehen, dass dasselbe von den Eiweissstoffen der Pflanze absorbirt wird.

Untersuchungen über das Diastaseferment unter specieller Berücksichtigung seiner Wirkung auf Stärkekörner innerhalb der Pflanze.

Von

G. Krabbe.

Hierzu Tafel XIII bis XV.

Einleitung.

Es kann nicht meine Absicht sein, den nachfolgenden Untersuchungen über die Natur und Wirkungsweise der Diastase eine eingehende Kritik der umfangreichen Litteratur vorauszuschicken, die über den vorliegenden Gegenstand vorhanden ist. Eine solche Kritik wäre auch insofern überflüssig, als jeder, der sich mit den Fermenten nach irgend einer Richtung eingehender befasst hat, ohne Weiteres zugeben wird, dass wir über das eigentliche Wesen der Fermente, sowie über die speciellen Ursachen ihrer eigenthümlichen Wirkung noch ziemlich im Unklaren sind.

Was speciell das Diastaseferment betrifft, so wissen wir darüber trotz der vielen vorhandenen Arbeiten kaum mehr, als dass von demselben die Stärke in Zucker übergeführt wird. Die Arbeiten, die sich mit der Abhängigkeit dieser Diastasewirkung von Temperaturverhältnissen sowie verschiedenen anderen Factoren beschäftigen, sind natürlich ausser Stande, uns einen tieferen Einblick in das eigentliche Wesen der Fermentwirkung zu verschaffen. Das gilt besonders von den rein chemischen Untersuchungen; bekanntlich ist es noch nicht einmal gelungen, die chemische Constitution der Diastase festzustellen.

Nach der Ansicht verschiedener Forscher, die man wohl als die herrschende bezeichnen kann, soll die Diastase von einem bestimmten, wenn auch noch unbekannten chemischen Individuum gebildet werden, allein durchschlagende Gründe sind bis jetzt von Seiten der Chemie für diese Anschauung nicht erbracht worden. Dass die Diastase in Wasser ziemlich klare „Lösungen“ bildet, ist selbstverständlich noch kein Beweis, dass eine wirkliche Lösung im chemisch-physikalischen Sinne vorliegt. Ein solcher Beweis folgt auch nicht aus der Thatsache, dass die Diastase durch Filtrirpapier und Kohlenfilter hindurchgeht. Nach meinen Erfahrungen gehen durch solche Filter auch eine Menge mikroskopisch leicht nachweisbarer Körper, wie Bacterien, Hefezellen, kleine Stärkekörner, Protoplasmatheilchen etc., Bestandtheile, die durch die verschiedene Behandlung der Diastase, z. B. durch Fällen derselben vermittelst Alkohol und Wiederauflösen in Wasser, nicht vollständig beseitigt werden können. Damit aber eine nachweisbare Trübung des Wassers eintritt, müssen die fraglichen Körperchen schon in grosser Anzahl vorhanden sein. So scheint es mir denn z. B. mehr als fraglich, ob man bei den verschiedenen Versuchen mit der Diastase jemals eine Lösung in Händen gehabt, die vollständig frei von Bacterien war.

Angesichts dieser Sachlage ist es nicht zu verwundern, wenn wir über die Beschaffenheit der Diastase Ansichten vertreten finden, die der soeben skizzirten diametral gegenüber stehen. Nach Ad. Mayer z. B. wird ein Ferment nicht von einer chemisch genau definirbaren Substanz gebildet, dasselbe soll vielmehr aus lebendem Protoplasma bestehen, da es nach seiner Ansicht Theilchen, „Splitter“ des letzteren sind, von denen die Fermentwirkung ausgeht. Hierauf und auf die Anschauungen Wigand's kommen wir später noch ausführlicher zurück.

Von weit grösserem Interesse aber als die verschiedenen Ansichten der Chemiker über die Natur der Diastase sind für den vorliegenden Gegenstand die Untersuchungen der Botaniker über die Art und Weise der Stärkeauflösung unter Einwirkung des Diastaseferments. Gerade die hier erhaltenen Untersuchungsergebnisse sind es, aus denen man unter der Voraussetzung ihrer Richtigkeit die Folgerung ziehen könnte, dass es sich bei den wässerigen Diastaseauszügen um eine wirkliche moleculare Lösung und darum

aller Wahrscheinlichkeit nach um eine chemisch einheitliche Substanz handelt. Alle bisherigen Forscher stimmen wenigstens in der Behauptung überein, dass das Diastaseferment in die Substanz der Stärkekörner eindringe und auf diese nach Art der Säuren und Alkalien eine auslaugende Wirkung ausübe. Vor Allem ist es Nägeli, der bei der Entwickelung seiner bekannten Fermenttheorie diese vermeintliche Uebereinstimmung zwischen der Wirkungsweise der Diastase und derjenigen der Säuren mit besonderem Nachdruck hervorhebt.

Wie aber im ersten Theil dieser Abhandlung auf Grund eingehender mikroskopischer Untersuchungen gezeigt werden soll, ist die herrschende Anschauung über die Wirkung der Diastase auf intacte Stärkekörner unhaltbar. Das Diastaseferment dringt nicht in die Substanz der Stärkekörner ein und ist deshalb auch ausser Stande, eine auslaugende Wirkung nach Art der Säuren auszuüben. Die Thatsachen, aus denen sich der vermeintliche Auslaugungsprocess ergeben soll, beruhen zum grossen Theil auf unrichtigen Beobachtungen, die ja auf einem so schwierigen Gebiete mikroskopischer Untersuchung leicht möglich sind. Viele Irrthümer würden indessen, wie ich glaube, vermieden sein, wenn man bei den bisherigen Untersuchungen die auslaugende Wirkung der Diastase nicht von vornherein als etwas Selbstverständliches angenommen hätte.

Unabhängig von dem angedeuteten Untersuchungsergebniss ist die Frage nach den Entstehungsursachen der verschiedenartigen localen Corrosionen, die in den meisten Fällen während der Stärkeauflösung zu beobachten sind. Wie wir sehen werden, ist auch hier die herrschende Anschauung, nach der die fraglichen Corrosionen mit besonderen Structurverhältnissen der Stärkekörner zusammenhängen sollen, unhaltbar. Ebenso wenig sind die vorhandenen Fermenttheorieen, die sich eigentlich nur mit dem Umwandlungsprocess der Stärke in Zucker beschäftigen, im Stande, uns über die Ursachen der localen Corrosionen irgend welchen Aufschluss zu geben.

Was nun schliesslich die wiederholt aufgeworfene und discutirte Frage nach dem eigentlichen Wesen des Diastaseferments betrifft, so hoffe ich auch nach dieser Seite einiges Material beizubringen, das uns in den Stand setzt, wenigstens eine präcisere Definition von

der Diastase zu geben, als es bisher möglich war. Die Ansicht, dass die Diastase direct aus irgend welchen lebenden Protoplasmatheilchen oder gar aus Mikroorganismen bestehe, ist nicht aufrecht zu erhalten. Andererseits muss aber auch die Vorstellung, dass die Diastase in Wasser eine moleculare Lösung bilde, als unzutreffend bezeichnet werden. Die später mitzutheilenden Versuche über den Durchgang der Diastase durch engporige Thonzellwände etc. in Verbindung mit der Thatsache, dass die Diastase nicht in die Stärkekörner einzudringen vermag, zwingen uns vielmehr zu der Annahme, dass die wirksamen Theilchen des Diastaseferments aus Einheiten höherer Ordnung bestehen, die sich erst aus den einzelnen Molecülen zusammensetzen.

Zum Schluss dieser einleitenden Bemerkungen möchte ich noch in aller Kürze an die von Arth. Meyer vertretene Ansicht erinnern, wonach die Entstehung der sichtbaren Schichtung der Stärkekörner mit einer Fermentwirkung zusammenhängen soll. Eine Schichtenbildung auf diesem Wege ist natürlich nur möglich, wenn das Ferment der herrschenden Anschauung gemäss in die Stärkekörner einzudringen vermag und eine auslaugende Wirkung ausübt, was von Arth. Meyer auch ohne Weiteres angenommen wird. Nach obigen Bemerkungen über die Wirkungsweise der Diastase versteht es sich von selbst, dass die Arth. Meyer'sche Ansicht über die Entstehung der Schichtung unzutreffend sein muss. Auf diese und andere Punkte kommen wir jedoch später noch ausführlich zurück.

Erster Theil.

1. Die Auflösung der Gramineen-Stärke im keimenden Samen.

Triticum vulgare. — Die Stärkekörner im Endosperm von Triticum vulgare besitzen bekanntlich eine scheibenförmige Gestalt mit gewöhnlich kreisförmigem Rande. Sobald man diese scheibenförmigen Stärkekörner frei im Wasser auf den Objectträger bringt, legen sie sich natürlich sämmtlich auf die flache Seite. Es ist unter solchen Umständen mit einiger Schwierigkeit verbunden, ein Korn für längere Zeit auf die Kante zu stellen, um dasselbe in

dieser Stellung beobachten zu können. Wie wir nachher sehen werden, ist aber eine solche Beobachtung durchaus nothwendig, um zu einer richtigen Beurtheilung der verschiedenen Corrosionen zu gelangen, die vom Diastaseferment an den Stärkekörnern der Gramineen hervorgerufen werden. Man bekommt z. B. über den eigentlichen Verlauf der Porencanäle, die während der Keimung in den Stärkekörnern zu entstehen pflegen, nur dann eine richtige Vorstellung, wenn man die Stärkekörner unter dem Mikroskop dreht und von allen Seiten zu beobachten sucht.

Da sich ein Stärkekorn von Triticum vulgare, sobald es aufgerichtet ist, im labilen Gleichgewicht befindet, fällt es natürlich ohne künstliche Stütze sofort wieder auf die flache Seite zurück. Sehr oft gelingt es, ein auf die Kante gestelltes Stärkekorn durch Anlehnen an ein benachbartes Korn wenigstens in schräger Stellung zu erhalten. Am einfachsten aber gelangt man dadurch zum Ziele, dass man die Stärkekörner in dickflüssigen Medien, z. B. in ziemlich concentrirtem Glycerin beobachtet. Da sich in solchen Flüssigkeiten Lagenänderungen fester Körper viel schwerer und langsamer vollziehen als in Wasser, so gelingt es in den meisten Fällen verhältnissmässig leicht, durch geeigneten Druck auf das Deckgläschen ein Korn in jeder beliebigen Lage längere Zeit zu beobachten.

Die erste Einwirkung des Diastaseferments auf die Stärkekörner von Triticum vulgare macht sich in Erscheinungen bemerkbar, wie sie durch Fig. 1 auf Taf. XIII veranschaulicht werden. Abgesehen von den keil- oder kegelförmigen Ausschnitten am Rande des Kornes (a, c, k etc.), die im Gegensatz zu den übrigen Theilen des Kornes durch eine deutliche Schichtung ausgezeichnet zu sein scheinen, finden sich auf der dem Beobachter zugekehrten flachen Seite eine grössere Anzahl mehr oder weniger kreisrunder Partieen, die unter dem Mikroskop fast genau so aussehen, wie Membrantüpfel in der Flächenansicht einer Zellwand. Wie eine genauere Untersuchung ergiebt, sind diese röthlich schimmernden Stellen Porencanäle, die von der flachen Seite aus in das Korn hineingehen. In dem Maasse, als sich diese Canäle nach dem Innern des Kornes verlängern, vergrössert sich auch in der Regel in der hinteren Region ihr Querschnitt, wobei derselbe zuweilen in eine elliptische oder eiförmige Gestalt übergeht. Eine nachträgliche Querschnittsvergrösserung der

Poren geht schon aus dem Umstande hervor, dass die letzteren unter sich einen ungleich grossen Durchmesser besitzen; und zwar sind die Porencanäle mit dem grösseren Lumen in der Regel auch am weitesten in das Korn vorgedrungen, also am längsten.

Von dieser ungleichen Länge der Porencanäle kann man sich schon bei der Flächenansicht des Kornes durch allmählich tiefere Einstellung des Objectivs überzeugen; es verschwinden dabei einige Poren viel früher aus dem Gesichtsfeld als andere, was natürlich nur möglich ist, wenn die Poren ungleich lang sind.

So lange sich die Einwirkung des Diastaseferments auf die Stärkekörner in den Anfangsstadien befindet, verschwinden gewöhnlich bei allmählich tieferer Einstellung des Objectivs sämmtliche Poren an der nach oben gelegenen Seite des Kornes aus dem Gesichtsfelde, während bei noch tieferer Einstellung die Poren an der unteren Kornseite zum Vorschein kommen, vorausgesetzt natürlich, dass hier überhaupt Poren vorhanden sind. Man überzeugt sich hierbei, dass die Porencanäle der beiden Seiten eines Stärkekornes nicht miteinander correspondiren, wie dies bei den Membrantüpfeln zweier benachbarter Zellen der Fall ist. Auch besteht in der Zahl der Canäle an den Seiten eines Kornes keinerlei Uebereinstimmung; die Poren können sogar an einer Seite gänzlich fehlen, während sie an der anderen in grosser Anzahl vorhanden sind.

In den Zwischenräumen bereits vorhandener Poren gelangen successiv neue zur Ausbildung, in regelloser Anordnung. Eine successive Entstehung der Poren ergiebt sich einmal schon aus der ungleichen Länge derselben, vor Allem aber aus dem Umstande, dass ihre Zahl mit der Dauer der Fermentwirkung zunimmt. — Bevor wir jedoch diese und andere Verhältnisse weiter verfolgen, mögen zunächst diejenigen Veränderungen besprochen werden, die beim Beginn der Diastasewirkung am Rande der Körner zu beobachten sind. Wie schon kurz angedeutet wurde, entstehen am Rande der scheibenförmigen Stärkekörner mit der Basis nach aussen gerichtete dreieckige Ausschnitte resp. keilförmige Partieen, die sich vor Allem durch ein schwächeres Lichtbrechungsvermögen von der übrigen Substanz des Kornes deutlich abgrenzen. Ausserdem scheint an den fraglichen Stellen eine deutliche Schichtung vorhanden zu sein, von welcher vor dem Beginn der Fermentwirkung am intacten Korn

nichts wahrzunehmen war. Man bekommt bei oberflächlicher Beobachtung ganz den Eindruck, als ob die fraglichen keilförmigen Stellen im Rande der Körner durch eine local begrenzte Auslaugung von Seiten der Diastase entstanden seien. So ist auch in der That diese Erscheinung, von älteren Beobachtern abgesehen, noch neuerdings von Wigand[1]) aufgefasst worden. Die Gramineenstärkekörner sollen, wenn auch in unsichtbarer Weise, aus Schichten mit ungleichem Gehalt an Granulose bestehen, und die vermeintliche Schichtung an den keilförmigen Partieen im peripherischen Theil der Körner soll dadurch zu Stande kommen, dass hier die granulosereichen Schichten stärker vom Ferment angegriffen und ausgelaugt werden als die granulosearmen.

Dass die keilförmigen Partieen in Wirklichkeit keine ausgelaugten Stellen des Stärkekornes repräsentiren, davon überzeugt man sich sofort, wenn man ein Korn auf die Kante stellt. Es zeigt sich dann ganz deutlich, dass wir es mit reellen Porencanälen zu thun haben, die vom Rande aus in das Stärkekorn hineingehen. Bei der Ansicht der Porencanäle von oben, wobei man deutlich in die Oeffnung hineinsieht, zeigen sich dieselben in der Regel so scharf begrenzt, dass man den Eindruck bekommt, als ob die Stärkesubstanz an bestimmten Stellen des Randes vermittelst eines scharfen Instrumentes entfernt worden sei (Taf. XIII, Fig. 2, a und b).

Wie man sich ferner durch Beobachtung der Porencanäle von oben überzeugt, ist der Querschnitt derselben nur in den ersten Entwickelungsstadien ein kreisförmiger; derselbe wird bald elliptisch, schliesslich sogar ausgesprochen spaltenförmig, indem sich der Durchmesser vorwiegend in der Richtung der kreisförmigen Kante erweitert, während derselbe senkrecht zu den flachen Seiten des Kornes ziemlich unverändert bleibt. Was den Ort der Entstehung und die gegenseitige Lage der Poren betrifft, so ist hier keinerlei Regel zu beobachten; sie entstehen oft in einer Region des Randes in verhältnissmässig grösserer Zahl, während sie in einer anderen gänzlich fehlen. Der Beginn der Porenbildung macht sich bei der Profilansicht des Kornes in kleinen Randeinkerbungen bemerkbar, wie sie in Fig. 1 bei b, d, e etc. zu sehen sind.

1) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus. (Forschungen aus dem botanischen Garten zu Marburg, Heft III, p. 118.)

Wenn nun durch den local begrenzten Angriff der Diastase auf die Stärkekörner von Triticum vulgare reelle Porencanäle entstehen: woher rührt dann die eigenthümliche Schichtung, die nur soweit deutlich ist, als sich die Poren erstrecken? Die hier in Frage kommenden Verhältnisse treten sofort klar hervor, wenn man bei der Profilansicht der Poren möglichst auf die Mitte derselben einzustellen sucht, um sie gewissermaassen im optischen Längsschnitt zu beobachten. Es stellt sich dann heraus, dass die seitliche Begrenzungslinie der Poren nicht gerade, sondern wellenförmig verläuft resp. gekerbt ist. Diese Kerbung kommt dadurch zu Stande, dass die dichteren Schichten an den Seiten der Poren leistenförmig in das Lumen der letzteren vorspringen. Diese vorspringenden dichteren Schichten entsprechen den Bergen, die weniger dichten Schichten dagegen den Thälern der wellenförmigen Begrenzungslinie der Poren. Während der Bildung der Canäle übt also das Ferment auf die weniger dichten Schichten einen grösseren Einfluss aus als auf die dichten; die ersten werden von dem Ferment in einem grösseren Umfange weggefressen als die letzteren; daher kommt es, dass die dichten Schichten über die weniger dichten hervorragen. Räumlich gedacht sieht also das Innere eines Porencanals genau so aus, wie das Innere einer Schraubenmutter; die nach innen vorspringenden Schraubenwindungen derselben entsprechen den vorspringenden dichteren Schichten an den Seiten der Porencanäle, nur mit dem Unterschiede, dass hier diese Leisten in Form von getrennten Ringen angeordnet sind und keine zusammenhängende Spirale bilden, wie die Windungen einer Schraubenmutter.

Wenn im Vorstehenden von dichten und weniger dichten Schichten die Rede ist, so soll damit nicht gesagt sein, dass eine solche Schichtung bei den Stärkekörnern unserer Getreidearten angenommen werden muss. Ob eine Schichtung im Nägeli'schen Sinne vorliegt, oder ob nur unter sich gleiche Lamellen oder Schichten mit deutlichen Contactflächen anzunehmen sind, will ich hier ganz dahingestellt sein lassen, da dieser Punkt für den vorliegenden Gegenstand ohne Bedeutung ist. Denn es bedarf keiner besonderen Auseinandersetzung, um einzusehen, dass auch bei der Annahme von Contactflächen die oben besprochenen Erscheinungen an den Porencanälen im Wesentlichen dieselben bleiben. Man braucht das

Ferment unter diesen Umständen an den Begrenzungsflächen nur besonders stark auf die Lamellen einwirken zu lassen, um dieselben leistenförmigen Vorsprünge zu bekommen, wie bei der Nägeli'schen Schichtung. Wenn die wasserreichen Schichten sehr dünn werden, ist es überhaupt nicht mehr möglich, sie von deutlichen Contactflächen zu unterscheiden.

Wie also gezeigt wurde, sind die vom Rande nach der Mitte des Kornes vorspringenden Keile in Wirklichkeit Porencanäle, deren Profilansicht eine Schichtung hervortreten lässt, die nur eine scheinbare ist.

Was nun die Anlage und successive Verlängerung der fraglichen Porencanäle nach dem Innern eines Kornes betrifft, so will ich schon hier in Kürze die wichtige Thatsache hervorheben, dass hierbei von einer auslaugenden Thätigkeit der Diastase nichts zu beobachten ist. Dies folgt schon aus der scharfen Umgrenzung der Poren in allen Entwickelungsstadien derselben. Während der Entwickelung der Canäle erfährt die Stärkesubstanz ausserhalb derselben keinerlei Veränderung, weder im Lichtbrechungsvermögen, noch im Verhalten beliebigen Reagentien gegenüber. Quellungsmittel rufen an corrodirten Körnern dieselben Veränderungen hervor wie an intacten. Was speciell die Jodlösung betrifft, so färbt dieselbe die Substanz corrodirter Körner bis zum Lumen der Canäle in derselben Weise blau, wie vom Ferment nicht angegriffene Körner.

Aus diesen und anderen Thatsachen folgt meiner Meinung nach mit aller Bestimmtheit, dass das Diastaseferment ausser Stande ist, in die intermicellaren Räume eines Stärkekornes einzudringen, und dass darum auch von einer auslaugenden Wirkung desselben nicht die Rede sein kann. Vielmehr entstehen die Porencanäle, indem an bestimmten Regionen eines Stärkekornes in centripetaler Richtung die Substanz successive, gleichsam Molecül für Molecül, weggenommen wird. Von dieser localen Wirkung der Diastase abgesehen, kann darum die Zerstörung eines Stärkekornes ohne Weiteres mit der

Lösung eines Krystalls verglichen werden. Denn auch bei der Lösung der Krystalle findet bekanntlich kein Eindringen des Lösungsmittels statt; ein Krystall wird allmählich kleiner und verschwindet zuletzt, indem die peripherisch gelegenen Molecüle successive von einander getrennt und in das Lösungsmittel übergeführt werden. Dass die Krystallmolecüle bei dieser Lösung unverändert bleiben, während die Stärkemolecüle eine chemische Veränderung erfahren, ist zunächst von nebensächlicher Bedeutung. Denn diese Umwandlung der Stärke in Zucker ist offenbar erst ein secundärer Process, der in keinem directen Zusammenhang mit der Lösung der Stärkekörner zu stehen braucht.

Während sich die Porencanäle nach dem Innern des Kornes verlängern, pflegen sie sich in der Regel zu verzweigen, wobei sie an mehreren Stellen innerhalb eines Kornes in gegenseitige Communication treten.

So gelangt schliesslich im Innern des Kornes ein reich verzweigtes, complicirtes Canalsystem zur Ausbildung, wodurch endlich ein Korn zum Zerfall gebracht wird, etwa in derselben Weise, wie z. B. ein von Insektengängen nach allen Richtungen durchsetzter Hutpilz schliesslich zu einem Pulverhaufen zusammensinkt.

Sind die vorstehenden Angaben über die Wirkungsweise der Diastase richtig, dann darf natürlich ein Porencanal niemals im Innern eines Stärkekornes entstehen, d. h. hier seinen Anfang nehmen. Wie eine sorgfältige Entwickelungsgeschichte zeigt, kommt so etwas auch in Wirklichkeit nicht vor; die gegentheiligen Behauptungen beruhen auf Irrthum. Alle Porencanäle nehmen ihren Anfang an der Oberfläche eines Korns; im Innern desselben entstehen neue Canäle nur als secundäre Abzweigungen von älteren, die ihrerseits nach aussen münden.

Es wird nicht überflüssig sein, die hier in Frage kommenden Verhältnisse an einigen concreten Beispielen näher zu erläutern. Sobald ein Porencanal eine Strecke weit in ein Stärkekorn eingedrungen ist, bildet er Verzweigungen, indem sich die Spitze in zwei oder mehrere Aeste gabelt. Sehr oft kommen die Verzweigungen

auch dadurch zu Stande, dass sich in grösserer oder geringerer Entfernung von dem Scheitel eines Canals Aeste seitlich abzweigen.

Wie Fig. 11 zeigt, haben wir hier zunächst nur einen bei a in das Korn hineingehenden Canal, der im Innern des Kornes in die 4 Aeste b, c, d, e ausläuft. Was die letzteren betrifft, so ist ohne Weiteres einleuchtend, dass dieselben bei ihrer weiteren Verlängerung an irgend einer Stelle aus dem Stärkekorne gewissermaassen herauswachsen müssen.

Man denke sich hierbei zunächst den einfachsten Fall, dass ein unverzweigter Canal irgendwo aus dem Korn hinauswächst, also das ganze Korn durchsetzt; wir haben dann einen Porencanal mit einer Eingangs- und Ausgangsöffnung. Es lässt sich natürlich in solchen Fällen nicht immer mit Sicherheit entscheiden, wo die Eingangs- und wo die Ausgangsöffnung eines solchen Canals zu suchen ist. Ein im Innern eines Kornes sich verzweigender Canal hat selbstverständlich nur eine Eingangsöffnung und mehrere Ausgänge, sobald auch die Zweigcanäle nach aussen münden.

Das in Fig. 16 dargestellte Stärkekorn besitzt an seiner Oberfläche 4 Oeffnungen, a, b, c und d, die, wie man sieht, zu einem im Innern des Kornes zusammenhängenden Gangsystem führen, wie die Mündungen zu den in der Erde mit einander communicirenden Röhren eines Fuchsbaues. In dem vorliegenden Fall ist nicht mehr mit Sicherheit anzugeben, wo das Ferment in das Korn eingedrungen ist, und wo die Ausgangsöffnungen zu suchen sind. Nach der Weite und der sonstigen Gestalt der Porencanäle zu urtheilen, entstand zunächst im Punkte b ein Gang, von dem das ganze Canalsystem abstammt; darnach hätten wir also in Fig. 16 nur eine Eingangsöffnung (b) und drei Ausgangsöffnungen (a, c und d). Dagegen lässt sich von dem Canal e bestimmt angeben, dass er als eine secundäre Abzweigung entstanden ist und bei seiner weiteren Verlängerung an irgend einer Stelle zwischen a und c nach aussen münden wird; sobald dies der Fall ist, besitzt das Canalsystem 4 Ausgangsöffnungen. Dass auf diese Weise überaus complicirte Canalsysteme zur Ausbildung gelangen können, ist auch ohne Erläuterung weiterer Beispiele klar.

Das Canalnetz im Innern eines corrodirten Stärkekornes erfährt noch dadurch eine nicht unerhebliche Complication, dass anfänglich getrennt verlaufende Gänge während ihrer Verlängerung und Ver-

zweigung in gegenseitige Communication treten, indem ein Canal in den andern mündet, oder indem an einer oder mehreren Stellen die trennende Stärkesubstanz nebeneinander verlaufender Canäle vollständig gelöst wird, eine Erscheinung, für die sich geradezu unzählige Beispiele anführen liessen; sie ist sogar im Innern ein und desselben Stärkekornes gewöhnlich an verschiedenen Stellen zu beobachten. Das Canalnetz eines Stärkekornes zeigt im Kleinen ein ähnliches Bild, wie eine Anzahl mit einander communicirender Flüsse.

Wie z. B. aus Fig. 3 auf Taf. XIII hervorgeht, sind die ursprünglich getrennt verlaufenden Porencanäle a, b und c im Innern des Kornes in mehrfache Communication mit einander getreten. Zwischen b und c ist der Verbindungscanal d entstanden, während a und b durch e in gegenseitige Verbindung getreten sind. Eine solche Vereinigung hat ferner im Punkte q zwischen den Canälen m und n stattgefunden, und zwischen den Canälen o und i in der Region p. Nur von den Gängen m und n lässt sich noch genau angeben, wo ihre Vereinigung erfolgte, nämlich im Punkte q; bezüglich der anderen Gänge sind wir in dieser Hinsicht beim vorliegenden Entwickelungsstadium nur noch auf Vermuthungen angewiesen. Was den Canal c betrifft, so hat derselbe wahrscheinlich an seiner Spitze die beiden Gabeläste i und d gebildet, und diese sind dann mit dem Canal b in den Punkten r und p in Verbindung getreten. Die Sache kann sich aber auch anders verhalten; es ist möglich, dass sich der Porencanal b in die Aeste d und o gabelte, und dass diese dann bei ihrer Verlängerung schliesslich in den Canal c mündeten.

Doch würde es viel zu weit führen, diese interessanten Momente ausführlicher zu erörtern; ich muss mich im Wesentlichen auf die einfache Constatirung der Thatsache beschränken, dass die Porencanäle im Innern eines Kornes in verschiedener Weise in gegenseitige Communication treten. — Um noch einen Moment bei der citirten Figur stehen zu bleiben, so lehrt eine eingehende Betrachtung derselben, dass eine Vereinigung anfänglich getrennter Poren bei ihrer Weiterentwickelung auch noch an andern als den soeben hervorgehobenen Stellen erfolgen muss. So wird der im vorliegenden Entwickelungsstadium noch isolirte Canal h bei seiner Verlängerung in den Gang d münden, und was s und t betrifft, so ist wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass dieselben bei längerer Ein-

wirkung des Diastaseferments vermittelst des sich gabelnden Canales g in gegenseitige Communication getreten sein würden. Von diesem Augenblicke an würden sämmtliche Porencanäle mit Ausnahme von v unter sich in Verbindung stehen.

Das durch Verzweigung und gegenseitige Vereinigung ursprünglich isolirter Porencanäle im Innern eines Kornes zur Ausbildung gelangende Canalsystem gestaltet sich noch bedeutend complicirter, wenn man nicht nur die am Rande, sondern zugleich auch die auf den flachen Seiten eines Kornes entstehenden Poren in Betracht zieht. Denn diese können sich während ihrer Verlängerung ebenfalls verzweigen und unter sich, vor allem aber mit den vom Rande kommenden Poren vielfache Communicationen bilden. Um sich hierüber zu orientiren, muss man natürlich die Körner unter dem Mikroskop drehen, damit sie in allen möglichen Lagen beobachtet werden können. Bei jeder Aenderung der mikroskopischen Einstellung ändert sich auch das Bild des Canalsystemes; um eine Vorstellung von der räumlichen Anordnung desselben zu bekommen, sind die verschiedenen Ansichten mit einander zu combiniren. In den beigegebenen Zeichnungen ist stets nur die Anordnung der Porencanäle in einer bestimmten Ebene wiedergegeben worden.

So lange bei der Auflösung der Stärke von Triticum vulgare nur die soeben beschriebenen Porencanäle in Frage kommen, ist es verhältnissmässig leicht, den sicheren Nachweis zu liefern, dass die Entstehung derselben nicht auf einen Auslaugungsprocess zurückgeführt werden kann. Man findet aber unter den in Auflösung begriffenen Stärkekörnern manche, die bei oberflächlicher Beobachtung ganz den Eindruck machen, als ob sie vom Rande aus auf grosse Strecken thatsächlich ausgelaugt worden seien. Dies gilt z. B. von dem in Fig. 7 Taf. XIII wiedergegebenen Korn, an dem in der Region a ein Auslaugungsprocess gewirkt zu haben scheint; hier ist wenigstens in der Flächenansicht des Kornes eine Schichtung bemerkbar, die mit der Bildung von Porencanälen anscheinend in keiner Beziehung steht.

Indessen zeigt die genaue Entstehungsgeschichte dieser scheinbar ausgelaugten Partieen, dass es sich bei ihnen um dieselben Factoren handelt, wie bei der Bildung der Porencanäle. Ich erinnere zunächst an die bereits oben kurz hervorgehobene Thatsache, dass die am Rande des Kornes entstehenden Porencanäle ihren Durchmesser fast

ausschliesslich in der Richtung der kreisförmigen Kante vergrössern, wobei der anfänglich kreisrunde Querschnitt eine elliptische und schliesslich sogar eine spaltenförmige Gestalt annimmt. Es leuchtet sofort ein, dass bei dieser eigenthümlichen Querschnittsvergrösserung anfänglich getrennt neben einander verlaufende Poren seitlich mit einander verschmelzen müssen, eine Erscheinung, die man bei den Stärkekörnern von Triticum vulgare in allen möglichen Stadien beobachten kann. In Folge dieses Processes entstehen am Rande vieler Körner oft langgestreckte Spalten, die nicht selten mehr als ein Drittel des ganzen Kornumfanges einnehmen und so zu der Täuschung Veranlassung geben können, dass hier ein gleichmässiges Auslaugen stattgefunden habe. Man sieht also auch hier wieder, wie nothwendig ein Drehen des Kornes ist, um sich vor Irrthümern zu bewahren.

Die scheinbar ausgelaugte Partie a des in Fig. 7 wiedergegebenen Kornes ist ganz sicher aus einer solchen seitlichen Verschmelzung zweier oder mehrerer Poren hervorgegangen. Das zeigt vor allem die Betrachtung des Spaltes von oben, wobei dieser an den Stellen, wo die Vereinigung stattgefunden hat, noch deutlich Verengerungen erkennen lässt. Wenn nämlich zwei Poren von elliptischem Querschnitt seitlich mit einander verschmelzen, so muss der hierdurch entstehende Spalt an der Vereinigungsstelle der Poren eine Einschnürung zeigen, die erst allmählich verschwinden kann. Diese Verengerungen eines durch seitliche Verschmelzung von Poren entstandenen Spaltes sind zuweilen auch in der Flächenansicht eines Kornes mehr oder weniger deutlich zu erkennen; sie erscheinen als radial verlaufende, die Schichten senkrecht durchsetzende Leisten, die in den ausgelaugten Partieen durch ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen hervortreten.

Die citirte Fig. 7 liefert ein Beispiel, an dem man die seitliche Verschmelzung von Porencanälen fast in allen möglichen Stadien beobachten kann. Dieser Vorgang ist z. B. ganz deutlich in der Region d an den Poren k, i und h zu verfolgen; man sieht, wie die Porencanäle i und h in ihren unteren Theilen bereits mit einander verschmolzen sind und nur noch am Rande des Kornes durch ein keilförmiges Stück intacter Stärkesubstanz von einander getrennt werden. Zwischen den Canälen k und i bildet die trennende

Stärkesubstanz nur noch eine schmale Leiste; dasselbe lässt sich auch an anderen Poren desselben Kornes beobachten. Sobald die gesammte Stärkesubstanz zwischen den Poren in der Region d Fig. 7 vollständig verschwunden ist, hat man auch hier, wie in der Region a, eine verhältnissmässig grosse Partie des Kornes, die in der Flächenansicht gleichmässig ausgelaugt erscheint. Offenbar sind es solche Körner gewesen, die Baranetzky[1]) zu der irrigen Ansicht verleiteten, dass das Diastaseferment in die Stärkesubstanz eindringe und hier eine auslaugende Wirkung ausübe.

An den Stärkekörnern von Triticum vulgare sind zuweilen noch andere Erscheinungen bemerkbar, die leicht zu irrthümlichen Anschauungen über die Wirkungsweise des Diastaseferments Anlass geben können. Es treten nämlich in manchen Körnern concentrische, in der Richtung der Schichten verlaufende, spaltenförmige Canäle auf, die zuweilen den Eindruck erwecken, als ob sie im Innern des Kornes ohne Beziehung zur Aussenwelt entstanden seien. Beim Drehen des Kornes findet man jedoch, dass die fraglichen Gänge an irgend einer Stelle der Stärkekornoberfläche direct nach aussen münden oder mit Canälen communiciren, deren Eingangsöffnung an der Oberfläche des Kornes liegt. Diese von aussen kommenden Fermentgänge sind es, von denen demnach in manchen Fällen die concentrisch verlaufenden Canäle genetisch abzuleiten sind.

Die hier in Frage kommenden Verhältnisse werden am besten durch die Figuren 4 und 7, Taf. XIII, veranschaulicht. Die senkrecht zur Schichtung verlaufenden Gänge a und b in Fig. 4 münden in den concentrisch verlaufenden Canal d. Nach anderweitigen Beobachtungen lässt sich nun auch für den vorliegenden Fall mit Sicherheit behaupten, dass der fragliche Canal d die seitliche Verlängerung von a und b darstellt, mit anderen Worten nicht unabhängig von diesen nach aussen mündenden Gängen entstanden ist.

Da die vom Diastaseferment gebildeten Gänge nach allen Richtungen im Korn verlaufen können, so kann es nichts Auffallendes haben, wenn hier und da einige Canäle genau in der Richtung der concentrisch angeordneten Schichten eines Kornes verlaufen. Nur

1) Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, 49.

ist die Entscheidung der Frage von grosser Bedeutung, ob die betreffenden Canäle, wie Baranetzky angenommen hat, im Stärkekorn selber, d. h. ohne Beziehung zur Aussenwelt entstehen oder ob sie nur Endigungen oder seitliche Aeste von aussen kommender Canäle repräsentiren. Wie wir nachher sehen werden, scheint man in diesen wie in anderen Fällen die Schwierigkeiten nicht empfunden zu haben, die sich für die Erklärung der Diastasewirkung ergeben würden, wenn die concentrischen Gänge im Innern des Kornes, von homogenen Schichten des letzteren umschlossen, entständen. — Wie noch in Kürze an den Figuren 4 und 7 gezeigt werden mag, können auch die concentrischen Canäle seitliche Auszweigungen bilden. Von dem Canal d in Fig. 4 geht nach innen der Gang c ab, der dann weiter nach dem Innern des Kornes in den wiederum concentrisch verlaufenden Canal e mündet. Was den concentrischen Porencanal h betrifft, so steht derselbe offenbar mit f in genetischer Beziehung. Aehnliche Verhältnisse sind an Fig. 7 zu beobachten, wo im mittleren Theil des Kornes mehrere concentrische Canäle vorhanden sind. Nicht unerwähnt möchte ich lassen, dass der Durchmesser dieser Canäle in den meisten Fällen viel grösser ist als die Dicke einer wasserreichen Schicht; der eigenthümliche Verlauf derselben kann also nicht mit der Annahme erklärt werden, dass die Diastase den leichter angreifbaren Schichten folgt.

Da die vorstehenden Auseinandersetzungen, wie ich glaube, eine genügende Orientirung über den Charakter der Stärkeauflösung im Endosperm von Triticum vulgare geben, möchte ich mich nicht weiter in die Schilderung von Einzelheiten einlassen, um so weniger, als damit ja nur die eben geschilderten Corrosionsbilder vermehrt werden würden; denn die Wirkungsweise des Ferments bleibt in allen Fällen dieselbe. Die verschiedenartigen Corrosionsbilder, die während der Keimung an den Stärkekörnern von Triticum vulgare einzutreten pflegen, sind nach dem Mitgetheilten ohne Weiteres verständlich. Sie hängen vorwiegend mit der Weite, Verzweigungsweise, dem Verlauf und der Art und Weise der gegenseitigen Communication der Porencanäle zusammen; zum Theil rühren sie auch daher, dass die Vertheilung der Porencanäle an den corrodirten Körnern eine höchst ungleiche ist. Im Allgemeinen gelangen zwar die Poren am Rande der Körner viel früher und in viel grösserer

Zahl als an den flachen Seiten zur Entwickelung, allein im Einzelnen giebt es nach dieser Richtung alle möglichen Variationen. Man findet Körner, die sich nur vom Rande aus durch Poren angegriffen zeigen, während an anderen Körnern, wenn auch seltener, nur die flachen Seiten mit Poren bedeckt sind. Auf diesen Seiten entstehen die Poren vorwiegend in dem mittleren Theil, während sie nach der Peripherie resp. dem Rande hin viel seltener werden. Es ist einleuchtend, dass schon durch diese ungleiche Anordnung und Vertheilung der Poren bei den verschiedenen Körnern Corrosionsbilder von ziemlich abweichendem Charakter zu Stande kommen müssen.

Hordeum vulgare und Secale cereale. — Die Auflösung der Stärke im Endosperm von Hordeum vulgare und Secale cereale vollzieht sich nach meinen Untersuchungen fast genau in derselben Weise wie bei Triticum vulgare; die vorkommenden Abweichungen beziehen sich nur auf den äusseren Charakter der entstehenden Corrosionen. Weder bei Hordeum noch bei Secale konnte irgend eine Erscheinung constatirt werden, aus der man auf ein Eindringen des Diastaseferments in die Stärkesubstanz hätte schliessen können. Dass die Diastase nicht nach Art verdünnter Säuren wirkt, diese Thatsache tritt bei der Gersten- und Roggenstärke noch in viel ausgeprägterer Weise als bei Triticum hervor, einmal wegen der überaus scharfen Begrenzung der Porencanäle, und sodann, weil seitliche Verschmelzungen, wodurch scheinbar ausgelaugte Partieen zu Stande kommen, viel seltener sind.

Die Fermentcanäle der Gerstenstärke zeigen nicht immer in den ersten Entwickelungsstadien die ausgeprägt keilförmige Gestalt, wie wir sie beim Weizen haben kennen gelernt. Auch nehmen sie oft an Länge zu, ohne dass ihr Lumen gleichzeitig eine erhebliche Erweiterung erfährt. — Infolge zahlreicher Verzweigungen und durch gegenseitige Communicationen der Canäle gelangt schliesslich ein unentwirrbares Labyrinth von Gängen zur Ausbildung, durch welche das ganze Korn allmählich in eine schwammartige Masse und endlich zum vollständigen Zerfall in lauter kleine Bruchstücke gebracht wird. In Fig. 12 ist der Versuch gemacht worden, ein solches Korn zur Anschauung zu bringen; es findet sich natürlich nur die Ansicht

wiedergegeben, die man bei einer bestimmten Einstellung des Mikroskops bekommt.

Die Körner in Fig. 9 und 10 auf Taf. XIII sind hauptsächlich zu dem Zwecke aufgenommen worden, um den Beginn der Porenbildung zu veranschaulichen. Wie besonders deutlich an den im Profil sichtbaren Randporen zu beobachten ist, beginnen dieselben stets an der Oberfläche des Kornes, um von hier aus in das Innere desselben vorzudringen. Gerade bei der Gerste lässt sich mit Sicherheit constatiren, dass ein Canal niemals im Innern eines Kornes seinen Anfang nimmt, so dass er nach aussen von homogenen Stärkeschichten umgeben wäre.

Zea Mays. — Um sich an irgend einem Beispiel leicht und schnell über die Art und Weise der Diastasewirkung zu orientiren, können vor Allem die Stärkekörner von Zea Mays als günstige Untersuchungsobjecte empfohlen werden. Die Wirkung der Diastase ist hier besonders deshalb leichter zu verfolgen und zu übersehen, weil sich die entstehenden Porencanäle weniger stark verzweigen, als dies z. B. bei der Gerste der Fall ist. Da die Poren ausserdem während ihrer Verlängerung nach dem Innern des Kornes die Schichten in der Regel senkrecht durchschneiden, so zeigen corrodirte Mais-Stärkekörner oft ähnliche Bilder, wie von Poren durchsetzte Sklerenchymzellen (Fig. 18 und 19, Taf. XIII).

Das ziemlich enge Lumen besitzt gewöhnlich in der ganzen Länge der Poren dieselbe Weite; von einer keilförmigen Gestalt der Poren ist auch in den ersten Entwickelungsstadien derselben so gut wie nichts zu beobachten. Ebenso wenig lassen sich an den Wänden der Porencanäle leistenförmige Vorsprünge der dichteren Schichten constatiren, auch nicht bei der nachträglichen Querschnittsvergrösserung der Poren, die übrigens nur in unbedeutendem Maasse stattfindet.

Was die allmähliche Ausbildung der Porencanäle betrifft, so geben hierüber die Figuren 21, 22 und 17 auf Taf. XIII ohne weitere Erläuterung den nöthigen Aufschluss. In Fig. 17 sind die Canäle fast bis zur Mitte des Kornes vorgedrungen. Es ist klar, dass diese Canäle bei ihrer weiteren Verlängerung im Centrum des Kornes in gegenseitige Communication treten müssen, wie dies auch

an den Körnern in Fig. 18 und 19 zu sehen ist. Bei dieser Verschmelzung der Poren kommt es fast regelmässig in der Mitte des Kornes zur Bildung eines Hohlraumes, der im Verein mit den von aussen kommenden Porencanälen wie ein See erscheint, in den von verschiedenen Seiten Flüsse münden. Ein solcher innerer Hohlraum ist in Fig. 20 zu sehen. Häufig bleibt zunächst in der Mitte der Höhlung Stärkesubstanz in Gestalt eines Pfeilers stehen, der erst allmählich vom Ferment aufgelöst wird (Fig. 18 und 19).

Sobald die von aussen vordringenden Porencanäle in der Mitte des Kornes in gegenseitige Verbindung getreten sind, zweigen sich von hier aus Gänge ab, die sich nun in umgekehrter Richtung von innen nach aussen verlängern; bei c, b und f in Fig. 18 sind solche Canäle zu sehen. Selbstverständlich müssen hierbei Fälle vorkommen, in denen die von aussen und aus der Mitte des Kornes kommenden Poren aneinander vorbeiwachsen, wie dies z. B. zwischen den Poren c, b und a in Fig. 18 der Fall ist. Sobald die fraglichen Canäle c und b das Korn nach aussen durchbrochen haben, lässt sich natürlich über ihre Entstehungsweise nichts Bestimmtes mehr aussagen. Da beim Mais auch auf den flachen Seiten Canäle entstehen, die im Innern des Kornes mit den von der Kante kommenden in vielfache Communication treten, so wird schliesslich die Maisstärke ebenso wie die Gersten- und Weizenstärke von zahllosen Gängen zerklüftet, woraus schliesslich ein gänzlicher Zerfall eines Kornes resultiren muss.

Ausser den vorstehend besprochenen Getreidearten wurde noch eine Anzahl anderer Gramineengattungen auf die Auflösungsmodalitäten ihrer Stärke im keimenden Samen untersucht, so z. B. Phleum, Panicum Eragrostis, Avena etc. Da hier überall im Wesentlichen dieselben Verhältnisse wiederkehren, so kann wohl mit ziemlicher Sicherheit die Stärkeauflösung durch Porencanäle als charakteristisch für sämmtliche Gramineen angenommen werden. Wo es sich, wie bei Avena, um zusammengesetzte Stärkekörner handelt, da tritt zunächst infolge der Fermentwirkung ein Zerfall derselben in die Theilkörner ein, die dann durch Gänge in der bekannten Weise zerstört werden.

In den Figuren 23, 24, 29 und 30 auf Taf. XIV sind corrodirte

Stärkekörner von Phleum und Eragrostis dargestellt, die wenigstens für einige Fälle die Art der Corrosion veranschaulichen mögen. Das Korn in Fig. 29 zeigt in der Mitte eine grosse Höhlung, die hier zunächst durch gegenseitige Verschmelzung der Porencanäle entstand und dann von dem Ferment allmählich vergrössert wurde. Dadurch entstehen, wie uns dies bei anderen Gattungen noch öfter begegnen wird, Körner mit grossen inneren Höhlungen, die von einer an mehreren Stellen durchlöcherten Schale umgeben sind. Was das in Fig. 24 dargestellte Korn betrifft, so macht die gezeichnete Ansicht den Eindruck, als ob das Stück a vollständig aus dem Verbande mit dem Stärkekorn herausgelöst sei. In Wirklichkeit steht dasselbe jedoch nach unten mit dem Korn in Verbindung, und dasselbe gilt von den Stücken b in Fig. 30. Ohne solche Verbindung würden ja die fraglichen Stücke aus dem Korn herausgefallen sein, wie dies ohne Zweifel in der Region a von Fig. 32 der Fall gewesen ist.

Die aus dem Zerfall der corrodirten Körner hervorgehenden Bruchstücke können in der Regel schon ihrer geringen Grösse wegen nicht durch Canäle zerstört werden; sie schmelzen, wie ein Krystall, von aussen ab, wobei das Ferment vorwiegend an denjenigen Seiten zu wirken scheint, die im noch nicht zerfallenen Korn an einen Canal angrenzten.

Zum Schluss mag hier noch die auffallende Erscheinung kurz hervorgehoben werden, dass sich die von Gängen durchsetzten Stärkekörner der Gramineen bei Einwirkung einer wässerigen Jodlösung viel schneller blau färben als uncorrodirte Körner, die sich mit jenen untermischt auf demselben Objectträger befinden, eine Erscheinung, deren Erklärung auf der Hand liegt. Bei stark corrodirten Körnern kann die Jodlösung viel schneller die ganze Masse durchdringen, weil sie sich nicht blos von der Oberfläche aus, sondern gleichzeitig auch von den Seiten der Porencanäle aus in der Stärkesubstanz ausbreitet. Der anfängliche Farbenunterschied zwischen corrodirten und intacten Körnern gleicht sich bei längerem Aufenthalt in Jodlösung wieder aus.

---

2. Kritik der bisherigen Untersuchungsergebnisse über die Auflösung der Gramineen-Stärke.

Da es die Gramineen-Stärke ist, an der man vorwiegend die Wirkung der Diastase studirt hat, halte ich es für zweckmässig, in unmittelbarem Anschluss an meine vorausgehend mitgetheilten Untersuchungsergebnisse in eine kurze Kritik der bereits vorhandenen Arbeiten über diesen Gegenstand einzutreten. Alle bisherigen Forscher stehen unter der von Nägeli begründeten, aber unzutreffenden Anschauung, dass die Stärkekörner aus zwei verschiedenen Substanzen, der Granulose und Cellulose, zusammengesetzt seien, von denen durch das auslaugend wirkende Ferment zuerst die leichter lösbare Granulose ausgezogen werde. Dass mit dieser Ansicht über die substanzielle Beschaffenheit der Stärke, auch wenn sie den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen würde, noch keine Antwort auf die Frage nach den Entstehungsursachen localer Corrosionen gegeben ist, bedarf wohl keiner speciellen Auseinandersetzung. — Nach Baranetzky stehen die localen Corrosionen mit besonderen Structurverhältnissen der Stärkekörner in Zusammenhang, in der Weise, dass ein Stärkekorn vorwiegend an denjenigen Stellen zerstört wird, an welchen es wegen seiner geringeren Dichte resp. leichteren Löslichkeit dem angreifenden Ferment auch den geringsten Widerstand leistet, eine Vorstellung, auf die wir in einem späteren Capitel noch ausführlich zurückkommen. Hier möchte ich mich zunächst darauf beschränken, einige thatsächliche Angaben der bisherigen Forscher richtig zu stellen.

Soweit sich dies nach der skizzenhaften Schilderung beurtheilen lässt, scheint Sachs[1]) nicht erkannt zu haben, dass es sich bei den oben ausführlich beschriebenen keilförmigen Partieen am Rande der Weizenstärkekörner um reelle Porencanäle handelt; er spricht wenigstens in seinen „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie" von einem local begrenzten Extrahiren der Granulose; „die extrahirten Stellen färben sich mit wässerigem Jod kupferroth, die noch übrige Masse blau"[2]). Diese auch in der „Keimungsgeschichte der Gräser" gemachte Angabe, wonach infolge der Diastasewirkung Skelette entstehen

1) J. Sachs, Zur Keimungsgeschichte der Gräser, Bot. Ztg. 1862, p. 148.
2) J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 2. Auflage, p. 337.

sollen, die sich mit Jodlösung nicht mehr blau färben, ist bereits von Baranetzky widerlegt worden, indem er p. 49 seiner bekannten Abhandlung[1]) ganz richtig angiebt: „An den Stärkekörnern von Triticum vulgare, welche unter dem Einfluss der Fermente aufgelöst werden, konnte ich in keinem Falle ein nach Extrahiren der Granulose etwa zurückbleibendes Celluloseskelett wahrnehmen. In allen Auflösungsstadien und an allen Stellen, wo die Masse des Kornes nahe zum Verschwinden war, konnte ich mit wässeriger Jodlösung immer noch violette Färbung der Substanz hervorrufen.“

Baranetzky erwähnt diese wichtige Thatsache, ohne daraus betreffs der Fermentwirkung die richtige Folgerung zu ziehen. Wenn sich ein Stärkekorn selbst an den Stellen, an denen die Masse fast zum Verschwinden gebracht ist, in Jodlösung noch blau färbt, so ist das ohne Zweifel eine Thatsache, die mit einer auslaugenden Wirkung der Diastase zum mindesten schwer zu vereinigen ist. Baranetzky sucht sich mit dieser wichtigen Beobachtung durch die willkürliche Annahme abzufinden, die Weizenstärke sei so reich an Granulose, dass dieselbe selbst bei langer und intensiver Einwirkung der Diastase nicht völlig ausgezogen werde.

Was nun die übrigen von Baranetzky besprochenen Erscheinungen betrifft, aus denen sich mit Bestimmtheit eine auslaugende Wirkung der Diastase ergeben soll, so handelt es sich hier nach meinen Erfahrungen offenbar um Beobachtungen, die eine unrichtige Deutung erfahren haben. Beim Weizen sollen sich nämlich neben local corrodirten Körnern in seltenen Fällen auch solche finden, „welche in allen Theilen gleichmässig ausgezogen werden, sie werden dabei sehr durchsichtig und zeigen zwei bis drei concentrische, in einander allmählich übergehende Zonen von verschiedener Dichtigkeit; das definitive Verschwinden solcher Körner kann entweder durch Abschmelzen von aussen oder durch das allmähliche, bis zum Unkenntlichwerden gehende Ausziehen derselben zu Stande kommen“ [2]). Wie ich annehmen darf, hat sich Baranetzky hier durch Stärkekörner täuschen lassen, bei denen am Rande der Körner benachbarte

1) J. Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, Leipzig 1878.

2) J. Baranetzky, ebenda, p. 49.

Porencanäle mit einander verschmelzen und dadurch nicht selten für grössere Partieen eines Kornes den Eindruck einer stattgefundenen Auslaugung hervorrufen, wie dies im vorausgehenden Kapitel ausführlich auseinandergesetzt wurde.

Aehnliches gilt von den Behauptungen, wonach concentrische Spalten in einiger Entfernung vom Rande eines Kornes, also ohne Beziehung zur Aussenwelt, entstehen sollen; „in dem mittleren, von der letzteren (nämlich der Spalte) umgrenzten Raum tritt ein System von unregelmässig verästelten Spalten auf, wodurch dieser Theil wie in Stücke zerfallen erscheint, während der ihn umgebende, ringförmige Saum ununterbrochen bleibt. Der letztere wird gleichmässig in seiner ganzen Masse ausgezogen, und es ist an ihm dabei oft eine feine radiale Streifung zu beobachten.“ [1]) Nach dieser Schilderung übt also dasselbe Ferment an ein und demselben Stärkekorn ganz verschiedene Wirkungen aus, denn an bestimmten Regionen des Kornes findet ein gleichmässiges Ausziehen statt, während an anderen scharf begrenzte Canäle entstehen. Da Baranetzky diese Beobachtungen registrirt ohne weitere Bemerkungen daran zu knüpfen, so scheint er nicht gefühlt zu haben, dass es sich hier um ganz unverständliche und räthselhafte Wirkungen der Diastase handeln würde, wenn seine Angaben richtig wären. Wahrscheinlich hat er unterlassen, seine Stärkekörner während der Beobachtung zu drehen, sonst würde er gefunden haben, dass die centralen Spalten, sofern sie überhaupt mit der Diastasewirkung zusammenhängen, irgendwo an der Oberfläche eines Stärkekornes nach aussen münden.

Was nun die ausführlichen Untersuchungen Wigand's [2]) betrifft, so kann es nicht meine Absicht sein, die vielen irrthümlichen Angaben, die sich gerade bei diesem Beobachter vorfinden, im Einzelnen zu widerlegen. Die Angaben Wigand's werden noch in viel höherem Maasse als bei Baranetzky von der Vorstellung einer auslaugenden Fermentwirkung beherrscht, so dass derselbe nicht einmal diejenigen Corrosionserscheinungen, die bereits Baranetzky ganz richtig als deutliche Porencanäle beschreibt, als solche anerkennt. Betreffs der Weizen- und Roggenstärke heisst es in dieser Hinsicht

1) l. c. p. 50.

2) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus. Forschungen aus dem bot. Garten zu Marburg, p. 116 ff.

l. c. p. 118: „Sowohl die „Porencanäle“ als die Keile erscheinen mit röthlichem Licht, sie sind nicht leere Räume, sondern leiterartig durch röthliche Platten unterbrochen, welche den concentrischen Schichten im nicht aufgelösten Theil des Kornes entsprechen. Aber selbst der Raum zwischen je zwei solcher Sprossen scheint nicht leer zu sein, indem er gleichfalls ein, wenn auch blasses, röthliches Licht zeigt. Hiernach würde man die beiden Substanzen des Stärkekornes nicht einfach als mit einander abwechselnde Schichten, sondern als sich an jedem Punkte nur in ungleichem Verhältniss durchdringend zu betrachten haben. Die äusserste dieser Schichten, welche den „Canal“ nach aussen verschliesst, ist immer etwas eingesunken, wie man am Verlauf der Contur sieht.“ Ich bin der Meinung, dass ein grosser Theil der in dieser Schilderung enthaltenen Irrthümer unmöglich gewesen wäre, wenn Wigand auch nur einmal ein Korn auf die Kante gestellt hätte. Dabei würde sich zum mindesten in unzweideutiger Weise gezeigt haben, dass eine äusserste Schicht, die den Canal nach aussen verschliesst, nicht vorhanden ist.

Ausser Baranetzky und Wigand hat sich in eingehender Weise nur noch Gris[1]) mit den Auflösungserscheinungen der Stärke beschäftigt. Die Beschreibung, die Gris von den Porencanälen der Getreidestärke giebt, darf im Allgemeinen als zutreffend bezeichnet werden; ganz unrichtig ist dagegen die Anschauung Gris' über die Entstehungsweise der Canäle. Diese sollen nämlich mit den unabhängig von der Diastasewirkung entstehenden centralen Spalten eines Kornes zusammenhängen, indem diese durch das Ferment entweder erweitert oder in Folge der Fermentwirkung erst neu gebildet werden. Wie Gris zu einer solchen Ansicht bei der Gramineen-Stärke kommen konnte, ist mir unverständlich.

Die Abbildungen, durch welche die fragliche Entstehungsweise der Poren erläutert werden soll, entsprechen offenbar nicht den thatsächlichen Verhältnissen; dies gilt vor Allem von den Figuren auf Taf. 8, auf der die corrodirten Körner durchweg mit einer doppelt conturirten Haut umgeben dargestellt sind. Es ist das ein Beweis,

---

1) Arthur Gris, Du développement de la fécule etc., Annales des sciences naturelles, sér. IV., Bd. 13, p. 106 ff.

dass sich Gris durch die am Rande der Stärkekörner auftretenden Interferenzlinien hat täuschen lassen.

Es wird nicht überflüssig sein, bei dieser Gelegenheit einige allgemeine Bemerkungen über die auch bei Baranetzky und Wigand wiederkehrenden Angaben einzuschalten, wonach in vielen Fällen die Auflösung der Stärke von innen heraus erfolgen soll, während die peripherischen Stärkeschichten intact bleiben. Als exquisites Beispiel wird hierfür die Stärke von Phaseolus multiflorus angegeben, in der grosse innere, von homogenen Stärkeschichten umgebene Höhlungen entstehen sollen. Wie ist nun eine derartige Wirkungsweise des Diastaseferments möglich, wenn dasselbe, wie man annimmt, von aussen in das Korn eindringt? Ein solcher Auflösungsprocess ist meiner Meinung nach nur unter der Voraussetzung einigermaassen verständlich, dass die Diastase bei der Entstehung der Stärke in das Innere eines Stärkekornes eingeschlossen wird. Durch den Keimungsprocess oder durch irgend welche anderen Vorgänge im Protoplasma einer Zelle müsste dann dies eingeschlossene Ferment in Activität versetzt werden, um nun von innen heraus die Substanz eines Stärkekornes in Lösung überzuführen. Wenn das Ferment in die Stärkesubstanz von aussen eindringt, dann ist nicht einzusehen, warum die äusseren Schichten eines Stärkekornes so lange intact bleiben sollen, bis sie durch das eingedrungene Ferment von innen her angegriffen werden. So gut wie eine bestimmte äussere Stärkeschicht von innen her gelöst werden kann, muss dies auch in umgekehrter Richtung, wenn auch in geringerem Maasse geschehen können, um so mehr, als ja gerade der äussere Theil einer Schicht zuerst mit dem eindringenden Ferment in Berührung kommt. Doch halte ich es für zweckmässiger, ohne theoretische Erörterungen später an concreten Beispielen zu zeigen, dass die herrschende Vorstellung über die Diastasewirkung auf Stärkekörner auch nach dieser Richtung nicht den thatsächlichen Verhältnissen entspricht.

---

3. Weitere Beispiele von Stärkeauflösung durch Bildung von Porencanälen.

Nach meinen Untersuchungen besitzt die Auflösung der Stärke durch Bildung von Porencanälen, die sich in vielen Fällen in der verschiedensten Weise verzweigen können, im Pflanzenreich eine ziemlich weite Verbreitung; sie findet sich nicht nur bei den Gramineen, sondern auch noch bei einer grossen Zahl anderer Pflanzengattungen.

Nur der Vollständigkeit wegen und um meiner Folgerung über die Art der Diastasewirkung eine breite und sichere Basis zu geben, sollen noch einige weitere Beispiele von Stärkeauflösung durch Porencanäle mitgetheilt werden; ich kann dabei sehr kurz sein, da dieselben principiell nichts Neues zu bieten vermögen. — Zunächst sei die wichtige Thatsache hervorgehoben, dass ich auch bei allen übrigen von mir näher untersuchten Gattungen niemals eine Erscheinung zu constatiren vermochte, aus der man auf ein Eindringen der Diastase in die Stärkesubstanz hätte schliessen können. Es entstehen eben von Hause aus scharf begrenzte Porencanäle, die an der Peripherie eines Kornes beginnen, um sich von hier aus nach dem Innern desselben zu verlängern, während die ausserhalb dieser Canäle gelegene Stärkesubstanz unverändert bleibt. Auch die aus dem Zerfall grosser Körner hervorgehenden Bruchstücke zeigen bis zu den kleinsten nachweisbaren Partikelchen keinerlei Abweichung von der Beschaffenheit normaler Stärkesubstanz.

Die an der Buchweizenstärke zu beobachtenden Auflösungserscheinungen sind dem äusseren Charakter nach bereits von Baranetzky zutreffend beschrieben worden. Die entstehenden Corrosionsbilder zeigen grosse Aehnlichkeit mit denjenigen, die wir bei der Stärke von Zea Mays näher kennen gelernt haben. Sowohl am Rande wie auf den flachen Seiten der verhältnissmässig kleinen Körner entstehen ziemlich englumige Canäle, die sich im Allgemeinen senkrecht zum Schichtenverlauf nach dem Innern des Kornes verlängern ohne sich hierbei zu verzweigen. Die höhlenartige Erweiterung der Canäle in der Mitte des Kornes kann man hierbei öfter beobachten; ein solcher Fall ist durch Fig. 25 Taf. XIV veranschaulicht, in dem sich der Porencanal a in der Mitte des Kornes zu der Höhlung b erweitert. Fig. 26 zeigt eines von den verhältniss-

mässig selten vorkommenden Körnern, die bereits auf den flachen Seiten eine Anzahl Poren besitzen, während der Rand des Kornes noch intact ist.

In derselben Weise, wie im keimenden Buchweizensamen, wird die Stärke in dem dicken Wurzelstock von Rheum Rhaponticum und Polygonum Bistorta aufgelöst. Die Untersuchung ist jedoch in diesen wie in manchen anderen Fällen nicht ganz leicht, da die Porencanäle in der Regel sehr eng und nur mit den besten optischen Hülfsmitteln in ihrem Verlauf genau zu verfolgen sind.

Durch gangartige Canäle werden auch die Stärkekörner in der verdickten Wurzel von Convolvulus zerstört. Die Körner bieten jedoch wegen ihrer Kleinheit keine günstigen Untersuchungsobjecte.

Viel schönere Beispiele einer Stärkeauflösung durch Porencanäle finden sich dagegen im Rhizom von Adoxa Moschatellina, wo man ausserdem nicht selten die Bildung innerer Hohlräume beobachten kann.

Die flach elliptischen, homogen erscheinenden Stärkekörner von Galanthus nivalis werden in den äussersten Zwiebelschuppen ebenfalls durch enge Canäle angegriffen. Hier scheinen jedoch auch Körner vorzukommen, die durch oberflächlich verlaufende Furchen corrodirt werden. Wo diese Furchen über den Rand der kleinen Körner verlaufen und zu beiden Seiten des Kornes endigen, lässt es sich oft schwer entscheiden, ob man einen ins Innere gehenden Canal oder nur eine an der Oberfläche verlaufende Furche vor sich hat. Da es sich hierbei jedoch nicht um principiell wichtige Punkte bezüglich der Diastasewirkung handelt, kann ich auf eine Erörterung dieses Gegenstandes verzichten; denn ein Eindringen der Diastase in die Stärkesubstanz findet in keinem Falle statt, mag es sich nun um innere Canäle oder um rinnenförmige Vertiefungen der Oberfläche handeln.

Auch an den kleinen, ebenfalls homogen erscheinenden Stärkekörnern der Zwiebelschuppen von Narcissus poëticus und Tulipa Gesneriana lässt sich die Zerstörung der Stärke durch Canäle in allen Einzelheiten ziemlich leicht verfolgen. Im Innern der Stärkekörner von Tulipa Gesneriana entsteht oft ein derartiges Durcheinander von Canälen, dass die Körner dadurch ein marmorirtes Aussehen bekommen. — Als deutliche Beispiele einer Stärkeauflösung

durch Porencanäle mögen unter vielen anderen schliesslich noch Colchicum autumnale, verschiedene Iris-Arten und Neottia Nidus avis hervorgehoben werden. Die letztere Pflanze ist noch besonders interessant dadurch, dass sich nicht nur in der Wurzel, sondern auch in anderen Organen, z. B. den Blüthenstielen und Fruchtknotenwandungen, die Zerstörung der Stärke durch Bildung von Poren beobachten lässt.

---

4. Die Stärkeauflösung in den Zwiebelschuppen von Hyacinthus orientalis.

Die Corrosionen, die sich bei der Stärkeauflösung in den äusseren Zwiebelschuppen von Hyacinthus orientalis beobachten lassen, besitzen einen so eigenthümlichen Charakter, dass es mir der besseren Uebersicht wegen zweckmässig erscheint, die hier in Frage kommenden Verhältnisse für sich gesondert kurz darzustellen.

Es ist mir nicht gelungen, an den nicht sehr grossen, mehr oder weniger ausgesprochen bohnenförmigen Stärkekörnern von Hyacinthus orientalis besondere Structurverhältnisse, etwa Schichtung, Lamellirung u. s. w. nachzuweisen. Da von derartigen Structuren auch während der Auflösung der Stärke an der Peripherie der Porencanäle oder an den Wandungen der im Innern entstehenden Höhlungen keinerlei Andeutungen zu finden sind, so scheinen die Stärkekörner von Hyacinthus orientalis in Wirklichkeit homogen zu sein, wenigstens weder Schichtung im Nägeli'schen Sinne noch Lamellirung zu besitzen.

Die an der Hyacinthus-Stärke zu beobachtenden Corrosionen bekommen hauptsächlich dadurch ihren eigenthümlichen Charakter, dass die Bildung von Porencanälen mit der Ausbildung von inneren Höhlungen in der verschiedenartigsten Weise combinirt sein kann. Jedes corrodirte Korn zeigt darum ein anderes Bild. Während manche Körner ausschliesslich durch vielfach verzweigte Gänge von ziemlich gleichmässiger Breite zerstört werden, zeigen andere nur verschieden gestaltete innere Höhlungen, die natürlich irgendwo an der Stärkekornoberfläche eine Eingangsöffnung für das Ferment besitzen. Wie

ich glaube, bekommt man durch eine Betrachtung der Figuren 31 bis 42 auf Taf. XIV eine bessere Anschauung von den verschiedenen Corrosionen, als durch eine ausführliche Beschreibung derselben. Deutliche Porencanäle zeigen vor Allem die Figuren 32, 33, 34 und 36; der vom Punkte a ausgehende Porencanal hat sich in allen Fällen im Innern des Kornes wiederholt verzweigt.

Was die Figur 32 betrifft, so lässt sich wohl nach anderweitigen Beobachtungen mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass die Eingangsöffnung a zu dem Canalsystem im Innern des Kornes nicht von Hause aus in der jetzt vorhandenen Grösse angelegt wurde; wahrscheinlich ist infolge eines eigenthümlichen localen Lösungsprocesses ein durch die punktirte Linie angegebenes Stück aus dem Stärkekorn herausgefallen. Ein solches Stück ist in Fig. 37 bei a noch vorhanden; dasselbe steht mit dem Stärkekorn c b nach unten, an einer in der Figur nicht sichtbaren Stelle, in Verbindung.

Was die verschieden gestalteten inneren Hohlräume betrifft, so zeichnet sich Hyacinthus orientalis durch die Eigenthümlichkeit aus, dass dieselben durchaus nicht immer in der Mitte des Kornes zur Ausbildung gelangen. Soweit ich orientirt bin, entstehen in allen sonstigen Fällen die von der Diastase erzeugten Höhlungen innerhalb eines Stärkekornes in der Region des Kernes, weil hier die Stärkesubstanz am weichsten ist. Natürlich kann die Ausbildung eines solchen Hohlraumes immer erst beginnen, wenn das Ferment durch besondere Cañäle von aussen bis zur Mitte des Kornes vorgedrungen ist. Wie eine Betrachtung der Figuren 35, 37, 38 und 42 lehrt, kann von einer solchen Beziehung der Höhlenbildung zur Mitte des Kornes bei Hyacinthus orientalis wohl kaum die Rede sein.

Nur in den seltensten Fällen sind die Wandungen der Hohlräume glatt und eben, in der Regel zeigen sich grössere oder geringere Unebenheiten, dadurch hervorgerufen, dass das Diastaseferment an verschiedenen Stellen der Höhlenwandung eine ungleich intensive Wirkung ausübt. Dadurch kommt es nicht selten zu ganz eigenthümlich gestalteten Vorsprüngen in das Lumen der Hohlräume. In stalaktitenartigen, keulenförmigen oder anders gestalteten Massen ragt die Stärkesubstanz in das Innere des Hohlraumes hinein, wie dies z. B. bei b und c in Fig. 42 Taf. XIV zu sehen ist. Die in

den Figuren 38 und 41 bei i und in Fig. 42 bei d isolirt dargestellten Theile sind in Wirklichkeit von oben gesehene pfeilerartige Vorsprünge, die mit der nach unten gelegenen, in der Figur nicht sichtbaren Region der Höhlenwandung in Verbindung stehen.

Von diesen verschiedenartigen Vorsprüngen und dadurch entstehenden Unebenheiten abgesehen, zeigen sich alle Hohlräume überaus scharf begrenzt. Ich wüsste kein Beispiel zu nennen, an dem sich so deutlich und in so unzweifelhafter Weise als bei Hyancinthus orientalis der Beweis erbringen liesse, dass das Diastaseferment während seiner Wirkung auf Stärkekörner nicht in die Substanz derselben eindringt. Ich brauche zu diesem Zwecke nur auf die bereits citirten Figuren der Taf. XIV zu verweisen, die jede weitere Erörterung überflüssig machen. Wie sollen durch ein Auslaugungsmittel, das die ganze Masse eines Stärkekornes durchdringt, derartig scharf begrenzte locale Corrosionen entstehen können, wie sie an den Körnern auf Taf. XIV zu sehen sind? Die infolge der Fermentwirkung entstehenden Skelette besitzen überdies nach jeder Richtung die Beschaffenheit normaler Stärkesubstanz, ebenso die aus dem Zerfall der Körner resultirenden kleinen Bruchstücke. Sehr stark corrodirte Körner mit verhältnissmässig nur noch dünnem, peripherischem Stärkemantel, kleine, scheibenförmige Bruchstücke zeigen in Jodlösung allerdings eine weniger intensive Färbung als intacte Körner; diese Erscheinung spricht aber nicht für eine stattgefundene Auslaugung, sondern erklärt sich aus rein physikalischen Gründen, wonach eine farbstoffspeichernde Substanz bei durchfallendem Licht um so intensiver gefärbt erscheinen muss, je dicker die absorbirende Schicht ist.

---

5. Die Auflösung der Leguminosen-Stärke.

Um in die Wirkungsweise des Diastaseferments einen möglichst klaren Einblick zu bekommen, sind die Leguminosen im Allgemeinen nicht als Untersuchungsobjecte zu empfehlen, einmal, weil die im Innern grösserer Körner reichlich auftretenden radialen Risse die Untersuchung in hohem Maasse erschweren, und sodann, weil die

entstehenden Porencanäle bei manchen Arten sehr fein sind, so dass der Verlauf derselben nicht ganz leicht zu verfolgen ist. Zu welchen Irrthümern derartige radiale Risse betreffs der Fermentwirkung bei der Gramineen-Stärke Veranlassung gegeben haben, wurde bereits im 2. Capitel bei Besprechung der Gris'schen Untersuchungen näher auseinandergesetzt. — Wenn die Auflösung der Leguminosen-Stärke hier in einem besonderen Capitel besprochen wird, so geschieht das aus dem Grunde, weil sich nach den übereinstimmenden Angaben von Baranetzky[1]) und Wigand[2]) gerade unter den Leguminosen vorzügliche Beispiele finden, welche die auslaugende Wirkung der Diastase deutlich erkennen lassen. Uebrigens will ich hier nur nebenbei bemerken, dass einige Beobachtungen Baranetzky's über die Auflösung der Stärke von Phaseolus multiflorus schwer mit einem Auslaugungsprocess zu vereinigen sind. So werden p. 43 seiner Abhandlung Stärkekörner beschrieben, aus denen die Granulose nicht gleichmässig ausgezogen wurde, vielmehr in verschiedenen Theilen „sehr ungleichmässig" verschwand; „die zurückbleibenden Skelette, trotzdem sie aus reiner Cellulose bestanden, waren doch ungemein substanzreich und fast ebenso scharf conturirt, wie die noch unveränderten Körner." Durch eine eingehendere Untersuchung hätte sich Baranetzky überzeugen können, dass die fraglichen Skelette nicht nur ebenso scharf conturirt sind wie unveränderte Körner, sondern mit diesen auch in jeder anderen Hinsicht übereinstimmen, schliesslich also gelöst werden, ohne dass das Ferment in ihre Substanz eindringt.

Was nun die angebliche Zerstörung der Phaseolus-Stärke von innen heraus durch Bildung innerer Hohlräume betrifft, so gehen Baranetzky und Wigand hierbei natürlich von der Vorstellung aus, dass von dem die ganze Masse eines Kornes durchdringenden Ferment die Mitte wegen ihrer geringeren Dichte früher in Lösung übergeführt werde als der dichtere und darum widerstandsfähigere peripherische Theil eines Kornes. Solche Differenzen in der Dichtigkeit der Substanz eines Kornes sind ohne Zweifel

---

1) J. Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, Leipzig 1878, p. 41.

2) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus, p. 119.

vorhanden, sie geben uns aber keinen directen Aufschluss über die Entstehungsweise der inneren Höhlungen. Würde die Bildung derselben mit einem Auslaugungsprocess zusammenhängen, dann müssten sich nothwendiger Weise auch Uebergänge zwischen dem Beginn der Fermentwirkung und dem gänzlichen Verschwinden der Stärkesubstanz nachweisen lassen; diese kann unter der Einwirkung eines Auslaugungsprocesses unmöglich in Form scharf begrenzter Höhlen verschwinden, um so weniger, als die Auflösung eines Stärkekornes von Seiten des Ferments in allen Fällen mehrere Tage erfordert. An solchen Uebergängen fehlt es aber gänzlich. Der mittlere Theil der Stärkekörner erfährt infolge der Fermentwirkung nicht erst eine successiv fortschreitende Veränderung, um dann erst zu verschwinden. Schon diese Thatsache beweist, dass das Diastaseferment auch bei Phaseolus ausser Stande ist, in die Micellarinterstitien eines Stärkekornes einzudringen, vielmehr auf das letztere eine rein äusserliche Wirkung ausübt, indem die an den Hohlraum zunächst angrenzenden Theilchen successive in Lösung gebracht werden.

Wie aber ist die Entstehung innerer Hohlräume möglich, wenn die Diastase nicht in die Stärkesubstanz eindringt? Es ist auch für Phaseolus multiflorus verhältnissmässig nicht schwer, den Nachweis zu führen, dass das Diastaseferment durch besondere Canäle von aussen in die Stärkekörner eindringt, und dass die Lösung der Stärkesubstanz von innen heraus erst erfolgt, wenn das Ferment durch die fraglichen Porencanäle bis zur Mitte des Kornes vorgedrungen ist. Um diese Gänge zu finden, hätten Baranetzky und Wigand ihre Körner unter dem Mikroskop nur zu drehen brauchen.

Zur richtigen Beurtheilung der Verhältnisse ist vor Allem hervorzuheben, dass in den meisten grösseren Stärkekörnern aus den Cotyledonen von Phaseolus multiflorus bereits vor der Keimung ein deutlicher, innerer Hohlraum vorhanden ist, der von den Basaltheilen radialer Risse gebildet wird. Um diese Risse mit einiger Sicherheit von Fermentgängen unterscheiden zu können, muss man sich über ihre Gestalt im ruhenden Samen, also vor Beginn der Fermentwirkung möglichst eingehend zu orientiren suchen. Ich will hier nur hervorheben, dass die fraglichen Risse nach der Peripherie des Kornes stets in einer ziemlich scharf ausgezogenen Spitze

endigen, was bei einem Fermentgang niemals in dieser ausgesprochenen Weise der Fall ist; dieser besitzt in der Regel eine abgerundete Scheitelregion wie das Ende eines Pilzfadens.

Sobald sich nun die radialen Risse zu erweitern und an den Spitzen abzurunden beginnen, hat man den Beweis, dass das Ferment in den inneren Hohlraum des Kornes eingedrungen ist. Bei dem in Fig. 58 auf Taf. XIV dargestellten Korn führen zwei Gänge a und b in das Innere des Kornes; es ist sicher, dass das Ferment durch diese oder andere, in der Figur nicht sichtbare Gänge in das Innere des Kornes gelangt ist. Die innere Höhlung der in Fig. 57 und 62 auf Taf. XIV wiedergegebenen Körner steht in der gezeichneten Profilansicht durch den Canal a mit der Aussenwelt in Verbindung.

Wie bei den Gramineen, so kann es auch hier nicht meine Absicht sein, die verschiedenartigen Corrosionsbilder der einzelnen Körner ausführlich zu schildern, um so weniger, als es sich hierbei nur um äusserlich verschiedene Erscheinungen handelt, während die eigentliche Wirkungsweise des Ferments, worauf es hier in erster Linie ankommt, in allen Fällen dieselbe bleibt. — Körner in ziemlich vorgeschrittenem Lösungsstadium und mit den verschiedenen Corrosionsbildern sind in den Figuren 43, 48, 49 und 53 bis 62 auf Taf. XIV dargestellt worden. Wie man sieht, ist an dem in Fig. 43 wiedergegebenen Korn das eine Ende b theilweise weggefressen worden, während der übrige Theil des Kornes von innen heraus durch Vergrösserung einer Höhle zerstört wird, deren Ausgangs- resp. Eingangsöffnung bei a sichtbar ist. Derartig corrodirte Körner haben oft grosse Aehnlichkeit mit Aepfeln oder Birnen, die von Bienen ausgehöhlt wurden. Eine Eingangsöffnung von der Grösse, wie sie bei a in Fig. 43 zu sehen ist, scheint nach meinen Erfahrungen gleich im Beginn der Fermentwirkung nur selten zu entstehen. In der Regel werden von dem angreifenden Ferment von aussen kleine Eingangsöffnungen gebildet, die dann erst nachträglich mit der Vergrösserung der inneren Höhlung eine Erweiterung erfahren. An einer Seite stark angefressene Körner zeigen auch die Figuren 55 und 60.

Die peripherischen Stärkeschichten, die den inneren Hohlraum umgeben, besitzen natürlich an verschiedenen Regionen eine ungleiche

Mächtigkeit, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Lösung der Stärkesubstanz in den radialen Spalten weiter vorgeschritten ist als an den zwischenliegenden Stellen. Bei genügend langer Einwirkung der Diastase muss der die Höhlung umschliessende Stärkemantel auch von innen her durchbrochen werden, was gewöhnlich an mehreren Stellen geschieht und so schliesslich zum Zerfall des Kornes führt. Wäre das in Fig. 53 wiedergegebene, stark corrodirte Korn auch noch an den Stellen a und b vom Ferment durchbrochen worden, so würde dasselbe wahrscheinlich in Bruchstücke zerfallen sein, an denen die frühere Gestalt des ganzen Kornes nicht mehr zu erkennen ist.

Aus vielen anderen Einzelerscheinungen will ich nur noch hervorheben, dass sich im Innern stark ausgehöhlter Körner zuweilen eine Anzahl kleiner Bruchstücke vorfindet, wie sie in Fig. 62 bei b, c, d und e wiedergegeben sind. Während in manchen Fällen solche Bruchstücke von dem Ferment aus der Wandung der Höhlung herausgefressen werden, kann man in anderen Fällen über die Herkunft derselben insofern zweifelhaft sein, als sie auch bei Herstellung des Präparates von aussen in das Korn hineingekommen sein können.

Um nun schliesslich nochmals auf die radialen Risse zurückzukommen, deren Entstehung mit der Fermentwirkung nichts zu thun hat, so ist ja einleuchtend, dass eine vorhandene Spalte im Stärkekorn für den äusseren Verlauf der Fermentwirkung dieselbe Bedeutung haben muss wie ein Fermentgang, sobald eine Communication der Spalte mit dem letzteren eingetreten ist. Denn da sich das Ferment von diesem Augenblicke an in der Spalte ausbreitet, so muss es hier auch genau so wirken wie in einem selbstgebildeten Gange. Sofern nun viele Risse im Innern eines Kornes vorhanden sind, kann auch der Fall eintreten, dass der äussere Charakter der entstehenden Corrosionen fast ausschliesslich von diesen Rissen bestimmt wird, indem sie das von aussen kommende Ferment aufnehmen und in bestimmte Bahnen leiten. Genau dasselbe gilt natürlich auch von dem im Innern der Stärkekörner von Phaseolus multiflorus vorhandenen Hohlraum; sobald das Ferment in seinen Canälen bis dahin vorgedrungen ist, muss es sich in dem Hohlraum ausbreiten und unter Vergrösserung

desselben ein Stärkekorn vorwiegend von innen heraus zerstören; es müsste geradezu auffallen, wenn wir unter solchen Umständen eine andere Fermentwirkung hätten.

Dass die vorstehenden Erörterungen richtig sind, lässt sich auch noch aus anderen Beobachtungen über die Lösungsweise der Phaseolus-Stärkekörner beweisen. Die radialen Risse und die inneren Hohlräume sind Erscheinungen, die erst in einem vorgerückten Entwickelungsstadium der Körner einzutreten pflegen, während in den kleineren Körnern die Risse entweder gänzlich fehlen, oder doch nur in ganz seltenen Fällen vorkommen. Die Corrosionen dieser kleinen Körner zeigen darum auch äusserlich einen anderen Charakter als diejenigen grosser Körner. Nur selten kommt es hier zur Bildung innerer Höhlungen; im Allgemeinen erfolgt die Zerstörung der kleinen Körner durch Ausbildung von Fermentgängen, die gewöhnlich bis zur Mitte des Kornes dieselbe Weite besitzen. Ueber die Art und Weise, wie die kleinen Phaseolus-Stärkekörner vom Ferment angegriffen werden, geben die Figuren 44, 45 und 50 bis 52 ohne weitere Erläuterung den erforderlichen Aufschluss. Dass es sich bei dieser äusserlich verschiedenen Auflösung der grossen und kleinen Stärkekörner von Phaseolus multiflorus nicht um eine principiell verschiedene Wirkungsweise des Ferments handeln kann, bedarf wohl keiner besonderen Auseinandersetzung; die vorhandenen Differenzen in dem äusseren Charakter der Corrosionen beruhen in dem vorliegenden Falle ausschliesslich auf Structurverschiedenheiten der ungleich grossen Körner.

Von den übrigen Leguminosen sind von mir nur noch Vicia Faba, sativa und Pisum sativum genauer untersucht worden. Es war mir hierbei nicht möglich die Wigand'schen Angaben zu bestätigen, wonach die Stärkekörner von Vicia Faba und Pisum sativum von aussen her abschmelzen sollen, „bis sie unter mannigfacher Gestaltsveränderung endlich ganz verschwinden“ [1]. Die Auflösung der Stärke vollzieht sich hier im Wesentlichen in derselben Weise wie bei Phaseolus multiflorus; vor Allem sind es Pisum sativum und Vicia sativa, welche die Bildung innerer Hohlräume oft recht deutlich erkennen lassen. Ebenso sind die

1) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus, p. 120.

vom Ferment gebildeten Gänge deutlich wahrzunehmen, wenn auch der Verlauf derselben oft nicht leicht zu verfolgen ist. Bei Vicia Faba pflegen sich die engen Fermentgänge in der Mitte des Kornes sehr stark zu verzweigen, so dass dasselbe infolge der vielen Gänge ein marmorirtes Aussehen bekommt. Im Uebrigen glaube ich auf eine weitere Schilderung der Corrosionen mit Rücksicht auf das bei Phaseolus multiflorus Gesagte verzichten zu können.

---

6. Die gleichmässige Auflösung der Stärkekörner von aussen.

Die Art der Stärkeauflösung, die im Folgenden kurz besprochen werden soll, lässt sich am besten als ein gleichmässiges Abschmelzen eines Kornes von aussen charakterisiren; sie steht darum in einem gewissen Gegensatz zu den bereits besprochenen Auflösungserscheinungen. Zwar wird auch in den bisher untersuchten Fällen zuerst die Peripherie eines Kornes angegriffen, jedoch nur an local begrenzten Partieen, von wo aus das Ferment in das Korn eindringt, um dasselbe durch Bildung von Porencanälen und Höhlungen vorwiegend von innen heraus zu zerstören, während die peripherischen Schichten bis auf die Porenmündungen in der Regel am längsten erhalten bleiben.

Für die richtige Beurtheilung der Diastasewirkung besitzen gerade diejenigen Pflanzen, deren Stärke gleichmässig von aussen aufgelöst wird, eine ganz hervorragende Bedeutung, weil sich hier mit besonderer Deutlichkeit der Nachweis führen lässt, dass das Ferment nicht in die Stärkesubstanz einzudringen vermag. Dem äusseren Charakter nach erfolgt in all' diesen Fällen die Stärkeauflösung genau in derselben Weise wie die Lösung der Krystalle, die unter der Einwirkung des Lösungsmittels ebenfalls von aussen nach innen abschmelzen.

Alle Pflanzengattungen, welche die fragliche Stärkeauflösung zeigen, sind gewöhnlich durch verhältnissmässig grosse Stärkekörner mit excentrischer Lagerung des Kernes ausgezeichnet, nach Art des in Fig. 67 Taf. XV schematisch gezeichneten Kornes aus den Zwiebelschuppen von Lilium candidum. Ausserdem besitzen die gleich-

mässig von aussen abschmelzenden Stärkekörner in der Regel eine deutliche Schichtung. Wie nun die unmittelbare Beobachtung lehrt, befindet sich an dem im Wachsthum geförderten Kornende eine grössere Anzahl von Schichten als in der Kernregion. Wie sich ferner leicht constatiren lässt, endigen die wasserreichen Schichten des dickeren Kornendes an den Seiten des Kornes zum Theil blind, indem sie sich zwischen den dichteren Schichten auskeilen; und zwar geschieht dies stets in einiger Entfernung von der Stärkekornoberfläche. Niemals kommt der Fall vor, dass eine Schicht des im Wachsthum geförderten Kornendes an den Seiten des Kornes frei endigt, vielmehr vereinigen sich hier die dichteren Schichten gruppenweise zu einer homogenen Schicht, die auch um das Kernende herum zu verfolgen ist.

Betrachtet man nun die dichteren Schichten als gleichartige Lamellen und die weniger dichten als Contactflächen oder als leere Zwischenräume jener, dann zeigen die excentrischen Stärkekörner äusserlich dieselben Verhältnisse, wie ich sie an der Zellhautbildung bei der Einkapselung des Protoplasmas in den localen Erweiterungen verschiedener Bastzellen zuerst genauer studirt habe[1]). Wie an dem stärker wachsenden Ende eines Stärkekornes, so befindet sich an den Enden der localen Erweiterungen eine grössere Anzahl von isolirten Kappen oder Lamellen, die an den Seiten der Erweiterungen zu einer homogenen Schicht mit einander verschmelzen.

Nach diesen Bemerkungen sind die Veränderungen, die durch ein an der Oberfläche wirkendes Ferment an excentrischen Stärkekörnern hervorgerufen werden müssen, sofort verständlich, wenn man im Auge behält, dass das Ferment mit annähernd gleicher Intensität an der ganzen Stärkekornoberfläche wirkt und nicht dem vorausgegangenen Wachsthum entsprechend das dickere Kornende stärker angreift als das Kernende. Es ist klar, dass an den Seiten excentrischer Körner die seitlichen Verwachsungen der äusseren Schichten infolge der Fermentwirkung aufgehoben werden müssen. Sobald dies geschehen, haben wir Stärkekörner, an denen die substanzreichen Schichten des

1) G. Krabbe, Ein Beitrag zur Kenntniss der Structur und des Wachsthums vegetabilischer Zellhäute. (Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, Heft 3.)

dickeren Kornendes je nach der Intensität der stattgefundenen Diastasewirkung in grösserer oder geringerer Zahl an den Seiten frei endigen, und bei welchen daher auch die weichen Schichten bis zur Oberfläche verlaufen. Bei entsprechender Lage solcher Körner sieht man direct auf die freien Ränder der Schichten, wie an den Seiten eines Thales oder Tunnels auf die Ränder freigelegter Gesteinsschichten. Die Figuren 66, 68 bis 74 enthalten aus den Zwiebelschuppen von Lilium candidum und aus der keimenden Kartoffelknolle stark angegriffene Stärkekörner, welche über die fraglichen Verhältnisse ohne weitere Erläuterung Aufschluss geben.

An stark excentrisch gebauten Stärkekörnern muss das Kernende mitsammt dem Kern bereits zu einer Zeit aufgelöst sein, wo von dem dickeren Ende verhältnissmässig noch grosse Schichtencomplexe vorhanden sind. Das gilt z. B. von allen Körnern der soeben citirten Figuren; die hier sichtbaren Schichten gehören ausschliesslich dem stärker gewachsenen Ende des Kornes an, da der Kern bereits verschwunden ist.

An den Seiten von aussen abschmelzender Körner ist in der Regel dieselbe Erscheinung wahrzunehmen, die bereits bei der Bildung der Porencanäle in der Gramineenstärke ausführlich besprochen wurde. Da von dem peripherisch wirkenden Ferment die wasserreichen Schichten stärker angegriffen werden als die dichten, so müssen diese bald an den Seiten eines Kornes leisten- oder wallartige Vorsprünge bilden, in derselben Weise wie an der Peripherie der Porencanäle in der Gramineenstärke. Die Erscheinung pflegt jedoch nur dort scharf hervorzutreten, wo die Schichtung eine recht deutliche ist, und wo vor Allem die substanzarmen Schichten eine ziemliche Breite besitzen, wie dies z. B. an den in Fig. 69 und 70 gezeichneten Körnern in der Region a der Fall ist.

Es ist nun eine auffallende Thatsache, dass die stärkere Einwirkung des Ferments auf die wasserreichen Schichten nur in den ersten Stadien der Auflösung eines Kornes constatirt werden kann. Denn in der fraglichen leisten- oder wallartigen Hervorragung der dichteren Schichten über die weniger dichten ist während der fortschreitenden Auflösung der Körner selten eine Steigerung zu beobachten; die dichten Schichten müssen darum von einem bestimmten Zeitpunkt an aus irgend welchen Gründen ebenso stark von dem

Ferment angegriffen werden wie die weniger dichten. Wäre dies nicht der Fall, so müssten die dichten Schichten während der fortschreitenden Auflösung mit ihren freien Rändern allmählich stärker hervorragen und zuletzt als isolirte Schalen auseinanderfallen.

Dass die Schichtung an corrodirten Stärkekörnern zuweilen deutlicher hervortritt als an intacten, darf natürlich nicht als Beweis für eine auslaugende Wirkung des Diastaseferments betrachtet werden. Denn da man an den Seiten abschmelzender Körner auf die freien Ränder der Schichten sieht, so muss auch deren gegenseitige Abgrenzung unter gewissen Umständen viel schärfer hervortreten als an uncorrodirten Körnern, an deren Seiten die substanzreichen Schichten mit einander verwachsen sind.

Wie schon vorhin betont, liegt gerade in der successiven Auflösung der Stärke von aussen der schlagende Beweis für das Unvermögen der Diastase, in die Stärkesubstanz einzudringen. Denn wenn ein solches Eindringen stattfände, müssten eben ganz andere Auflösungserscheinungen resultiren, als sie in Wirklichkeit zu beobachten sind. Um die successive Auflösung der Stärke von aussen durch einen Auslaugungsprocess zu erklären, wäre man zu der einzig möglichen Annahme gezwungen, dass das Diastaseferment in diesen Fällen nicht die ganze Masse eines Stärkekornes durchdringe. Die Wirkung der Diastase sei eine so intensive, dass die Stärkesubstanz gleich beim Eindringen des Ferments in die peripherischen Schichten eines Kornes in Lösung gebracht werde.

Nun aber sind während der Lösung keinerlei Veränderungen im peripherischen Theil eines Kornes zu beobachten, die darauf hindeuten, dass hier ein Auslaugungsprocess wirksam ist. Davon aber abgesehen müsste bei der angenommenen Wirkungsweise des Diastaseferments die Auflösung der Stärke in einem so schnellen Tempo erfolgen, dass die Körner während der mikroskopischen Beobachtung verschwinden würden, wie etwa ein Kochsalzkrystall in Wasser.

Es geht aber gerade die Lösung von aussen abschmelzender Körner sehr langsam von statten; sie erfordert nach meinen Erfahrungen bei der Kartoffel und Lathraea stets mehrere Wochen.

Das Diastaseferment hat also hinreichend Zeit, sich im Stärkekorn auszubreiten. Würde dies aber geschehen, dann wäre eine gleichmässige Auflösung der Stärke von aussen undenkbar. Denn es

lässt sich leicht zeigen, und von Nägeli ist dies bereits in ausführlicher Weise geschehen, dass besonders die grossen Körner im Innern substanzärmer und darum weicher sind als in ihrem peripherischen Theile. Da demnach die Mitte weniger widerstandsfähig ist als die Peripherie eines Kornes, so muss jene von einem auslaugend wirkenden Mittel viel früher zerstört werden als diese. Es bleibt aber gerade die Mitte eines Kornes unverändert, während dies von aussen abschmilzt.

Wenn im Vorstehenden von einem gleichmässigen Abschmelzen der Stärkekörner von aussen die Rede ist, so soll damit natürlich nicht gesagt sein, dass die Lösung überall an der Stärkekornoberfläche mathematisch genau mit derselben Intensität von statten gehe. Sehr oft ist an den Seiten der Körner in einer oder mehreren Zonen, die um das ganze Korn herumgehen, die Lösung weiter vorgeschritten als in benachbarten Regionen. Dadurch bekommen die Stärkekörner taillenartige Einschnürungen, die ihnen nicht selten das Aussehen eines gedrechselten Tisch- oder Stuhlbeines geben (Fig. 71, 72 und 89). In den Fällen, in denen die Lösung eine ziemlich regelmässige ist, nehmen die abschmelzenden Körner zuletzt die Gestalt kleiner stäbchen- oder spindelförmiger Körper an, die bis zum Verschwinden das Verhalten normaler Stärkesubstanz zeigen.

Als sehr auffallende Thatsache muss es bezeichnet werden, dass bei der Keimung der Kartoffelknolle und ebenso in verschiedenen anderen Pflanzen, so bei Lilium candidum, Phajus, Lathraea und Orobanche, nicht alle Körner durch Abschmelzen von aussen aufgelöst werden. An vielen Körnern bleibt die Peripherie insofern intact, als es zur Bildung von Porencanälen kommt, die während ihrer Verlängerung Verzweigungen bilden können, wie dies bereits an anderen Beispielen ausführlich gezeigt wurde. Nicht selten sind diese Porencanäle mit der Ausbildung eines Hohlraumes im Innern des Kornes verbunden, wie an den Figuren 63, 64 und 65 zu sehen ist. In all' diesen Fällen wird die Stärke also vorwiegend von innen heraus zerstört. Auffallender Weise sind es nach meinen Beobachtungen fast ausschliesslich die kleineren Körner, die in dieser Weise aufgelöst werden, während die grossen Körner gleichmässig von aussen abschmelzen.

Von grösserem Interesse als die weitverbreitete Bildung von Porencanälen ist eine Reihe anderer localer Corrosionen, die nach meinen Erfahrungen nur an den grossen Stärkekörnern der vorhin namhaft gemachten Pflanzen vorzukommen scheinen. Die Gestalt dieser Corrosionen ist eine so mannigfaltige, dass es schwer hält den Charakter derselben mit wenigen Worten wiederzugeben; am besten lassen sie sich im Allgemeinen wohl als gruben- oder kraterförmige Vertiefungen in der Stärkekornoberfläche bezeichnen. Das in Fig. 79, Taf. XV wiedergegebene Korn zeigt z. B. an seiner Oberfläche eine Anzahl solcher localer Corrosionen, die noch eine ziemlich regelmässige Gestalt besitzen; bei a ist eine von den grubenförmigen Vertiefungen im Profil zu sehen. An excentrisch gebauten Stärkekörnern ist es in der Regel das hintere Ende, welches in dieser Weise vom Ferment angegriffen wird. Wie man an dem in Fig. 77 Taf. XV abgebildeten Korn aus dem Blüthenstiel von Lathraea sieht, zeigt sich hier das ganze hintere Ende in eigenthümlicher Weise angefressen, während an den übrigen Regionen der Stärkekornoberfläche keinerlei Fermentwirkung wahrzunehmen ist. Aehnliche Corrosionen sind an den Körnern (Lathraea) in Fig. 78 und 87 an den Seiten in a zu sehen. Die Oberfläche solcher Körner zeigt oft ähnliche Bilder wie Hutpilze, die von Schnecken angefressen sind.

Die hier skizzirten eigenthümlichen Corrosionen pflegen sehr selten für sich allein vorzukommen, in der Regel sind sie von einem über die ganze Stärkekornoberfläche sich erstreckenden Lösungsprocess begleitet. Was die Kartoffelstärke betrifft, so scheint es mir nach verschiedenen Beobachtungen, dass hier die im Beginn der Keimung entstehenden grubenförmigen Einsenkungen in vielen Fällen während des weiteren Verlaufs der Auflösung der Körner wiederum verschwinden; dies ist natürlich nur möglich, wenn die Wirkung des Ferments in den localen Vertiefungen hinter der Wirkung an der übrigen Oberfläche des Stärkekornes zurückbleibt. In Kartoffelknollen, die bereits weit in der Keimung vorgeschritten waren, vermochte ich an stark abgeschmolzenen Körnern nur noch selten locale Vertiefungen zu finden, während solche im Beginn der Keimung an der Stärke derselben Knolle verhältnissmässig zahlreich vorhanden waren.

Anders scheinen mir die Verhältnisse bei der Stärke aus den Blüthenstielen von Lathraea zu liegen; hier konnte ich wenigstens

ein solches Verschwinden der localen Corrosionen nicht constatiren. Diese werden vielmehr im Gegensatz zu der Kartoffelstärke während des allmählichen Abschmelzens der Körner breiter und vor Allem tiefer. In sehr ausgesprochener Weise zeigt dies z. B. das in Fig. 83 abgebildete Korn, an dem neben einer gleichmässigen Lösung von aussen an dem hinteren Ende bei a eine tiefgehende locale Einsenkung zu beobachten ist. Aehnlich liegen die Verhältnisse bei den in Fig. 84 und 88 wiedergegebenen Körnern. Als interessantes Beispiel einer eigenthümlichen Auflösung mag endlich noch das in Fig. 89 wiedergegebene Korn aus der Knolle von Phajus grandifolius hervorgehoben werden. Hier zeigt sich nämlich neben einem Abschmelzen von aussen am hinteren Ende bei b eine besondere locale Corrosion, während sich am vorderen, dem Kernende, Porencanäle gebildet haben. Wahrscheinlich hängen diese Poren mit vorher vorhandenen Spalten zusammen, in die das Ferment eingedrungen ist, als das Korn bis zu diesen Spalten abgeschmolzen war.

Die verschiedenen Auflösungserscheinungen, die an der Stärke der Kartoffel, Lilium candidum, Lathraea clandestina, Orobanche und Phajus grandifolius zu beobachten sind, lassen sich dem äusseren Charakter nach kurz folgendermaassen gruppiren:

1. Im Allgemeinen findet eine gleichmässige Lösung von aussen nach innen statt.

2. Neben dieser Lösung finden sich an den grossen Stärkekörnern sehr oft besondere locale Corrosionen in Form gruben- oder kraterförmiger Einsenkungen.

3. Im Gegensatz hierzu werden die kleinen Körner von innen aus gelöst, indem Porencanäle zur Ausbildung gelangen, die sich nach dem Innern des Kornes verlängern und dabei oft die Entstehung eines inneren Hohlraumes im Gefolge haben.

7. Die Art der Stärkeauflösung in Pflanzentheilen, die nicht zu den typischen Reservestoffbehältern gehören.

Soweit es sich um typische Reservestoffbehälter, um Samen, Knollen, Zwiebeln etc. handelt, glaube ich im Vorausgehenden die Erscheinungen der Stärkeauflösung mit hinreichender Ausführlichkeit behandelt zu haben, um nach dieser Richtung eine ganz allgemein gültige Regel aufstellen zu können. Das Diastaseferment zeigt danach niemals auslaugende Wirkung, diese ist vielmehr eine rein äusserliche, da die Stärkesubstanz direct in Lösung gebracht wird, soweit das Ferment vordringt.

Es fragt sich nun, ob eine derartige Stärkeauflösung auch in den übrigen Theilen einer Pflanze, den Blättern, Stengeln etc. stattfindet. Betreffs der ausgesprochenen Reservestoffbehälter sind ja die Verhältnisse insofern eigenthümlicher Art, als hier grosse Massen von Stärke angehäuft liegen, die zu einer bestimmten Zeit ziemlich schnell verarbeitet werden müssen. Es wäre a priori nicht undenkbar, dass die Pflanze nur dort ein so kräftig wirkendes Mittel, wie die Diastase, in Action treten lässt, wo in kurzer Zeit verhältnissmässig grosse Mengen von Stärke in Zucker verwandelt werden müssen, während sie in Fällen geringen Stärkeverbrauchs mit weniger intensiv wirkenden Mitteln, wie z. B. den Pflanzensäuren, zum Ziele gelangt. In solchen Fällen muss natürlich auch die Stärkeauflösung in anderer Weise erfolgen als dort, wo die Diastase eingreift.

Obgleich nun die mit meinen Erfahrungen übereinstimmenden Angaben Baranetzky's[1]), wonach Diastase fast in allen Pflanzentheilen mit lebenden Zellen vorkommt, solche Verschiedenheiten in der Stärkeauflösung nicht sehr wahrscheinlich erscheinen lassen, habe ich mich doch durch besondere Untersuchungen über diesen Gegenstand zu orientiren versucht. Danach erfolgt auch in allen übrigen stärkehaltigen Pflanzentheilen die Stärkeauflösung in derselben Weise wie in den typischen Reservestoffbehältern. Ueberaus instructive Beispiele zur Illustration dieses Gegenstandes liefern verschiedene

---

1) A. Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, Leipzig 1878, p. 4 ff.

Schmarotzer, wie Neottia Nidus avis, Lathraea- und Orobanche-Arten. Während der Blüthenentwickelung sammelt sich hier besonders in den Parenchymzellen der Blüthenstiele und Fruchtblätter soviel Stärke an, dass die Zellen oft davon vollgepfropft sind wie die Zellen echter Reservestoffbehälter. Sobald nun die Befruchtung stattgefunden hat und die Samenentwickelung beginnt, zeigen sich die ersten Spuren einer beginnenden Stärkeauflösung; in dem Maasse, als die stärkefreien Samenkörner heranwachsen, verschwindet die Stärke aus den fraglichen Gewebetheilen, und zwar genau unter denselben Erscheinungen wie in den echten Reservestoffbehältern. Die verhältnissmässig kleinen Stärkekörner von Neottia Nidus avis werden in der Regel durch Porencanäle angegriffen, die sich nach dem Innern des Kornes verlängern und infolge reichlicher Verzweigung das letztere zum Zerfall bringen. Was die Stärke von Lathraea und Orobanche betrifft, so sind die hier zu beobachtenden Auflösungserscheinungen bereits im vorausgehenden Capitel besprochen worden.

In mehr oder weniger ausgeprägter Weise kehren dieselben Corrosionserscheinungen in einer grossen Reihe nicht schmarotzender Pflanzengattungen wieder, so bei allen Gattungen mit ölhaltigem Samen, wie Linum, Raphanus, Sinapis, Papaver etc. Auch hier sind die Zellen der Blüthenstiele, die Fruchtknotenwandungen, vor Allem aber die später als Samenschale functionirenden Integumente vor der Befruchtung vollgepfropft mit Stärke, die unter Bildung localer Corrosionen in Form von Porencanälen und inneren Höhlungen verschwindet, sobald die Befruchtung stattgefunden hat und die Samenausbildung beginnt. Es erscheint mir mehr als fraglich, ob es einen Sinn hat, die in den angegebenen Gewebetheilen abgelagerte Stärke als transitorisch zu bezeichnen; offenbar spielen hier wie in anderen Fällen die Fruchtknotenwandung und die Integumente für den heranwachsenden Embryo die Rolle von Reservestoffbehältern, da sie bereits bei der Befruchtung grösstentheils das Material aufgespeichert enthalten, was der Embryo zu seiner Ausbildung bedarf. Die Stärke in den Integumenten besitzt für den heranwachsenden Embryo dieselbe Bedeutung, wie das fette Oel bei der Keimung des reifen Samens.

Zur Bildung ausgesprochen localer Corrosionen kann es natür-

lich nur dort kommen, wo die Stärkekörner eine genügende Grösse besitzen. Die oft sehr schnell verschwindende kleinkörnige Stärke in manchen Blättern etc. wird wahrscheinlich durch Abschmelzen von aussen zerstört; die Stärkekörner sind wenigstens zu klein, um einen localen Begriff des Ferments äusserlich erkennen zu lassen.

Wie ich schliesslich noch bemerken will, soll mit den vorstehenden Angaben keineswegs eine erschöpfende Darstellung der Stärkeauflösung in den nicht als Reserstoffbehälter functionirenden Gewebetheilen gegeben sein; ich wollte nur in Kürze zeigen, dass auch hier nichts von einer auslaugenden Wirkung der Diastase zu beobachten ist.

---

8. Die Auflösung der Stärke ausserhalb der Pflanze in wässerigen Diastaseauszügen und in Bacterienflüssigkeit.

Wie durch die interessanten und werthvollen Untersuchungen Baranetzky's[1]) festgestellt wurde, werden die meisten Stärkearten auch ausserhalb der Pflanze in wässerigen Diastaseauszügen aufgelöst, wenn es auch bei der Stärke verschiedener Pflanzengattungen lange dauert, bis deutliche Spuren einer Fermentwirkung zu beobachten sind. Ferner wissen wir aus den eingehenden Untersuchungen Wortmann's[2]), dass auch die Bacterien im Stande sind, Stärkekörner anzugreifen. Um sich hiervon zu überzeugen, braucht man Stärke nur in Wasser mit faulenden Substanzen zu bringen; man findet dann je nach der benutzten Stärkeart früher oder später an verschiedenen Körnern deutliche Corrosionen. Wie hier nebenbei bemerkt sein mag, sollen nach Wortmann die Bacterien diese Wirkung auf Stärkekörner nur „im Zustande des Hungers", so lange „ihnen ausser der Stärke keine andere benutzbare Kohlenstoffquelle zu Gebote steht", auszuüben im Stande sein, eine Angabe, die ich nicht habe bestätigen können. Nach meinen Erfahrungen ist die Wirkung der Bacterien auf intacte Stärkekörner bei Anwesenheit von Eiweiss-

1) J. Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente etc.

2) J. Wortmann, Untersuchungen über das diastatische Ferment der Bacterien. Zeitschr. f. physiologische Chemie, Bd. 6.

substanzen, also unter günstigen Ernährungsbedingungen, eine intensivere als dann, wenn sie sich im Hungerzustande befinden.

Uebrigens wurden meine Versuche in erster Linie zur Orientirung über die wichtige Frage angestellt, wie die Stärke von Bacterien und in Diastaseauszügen angegriffen wird, ob hier dieselben Corrosionen auftreten wie bei der Keimung innerhalb der Pflanze, oder ob nach dieser Richtung irgend welche Differenzen vorhanden sind. Was zunächst die Gramineen betrifft, so hat es nach meinen Versuchen den Anschein, als ob deren Stärke unter den verschiedensten Bedingungen, im keimenden Samen, in Diastaseauszügen und in Bacterienflüssigkeiten in derselben Weise aufgelöst werde; für den keimenden Samen und die Diastaselösung darf eine solche Uebereinstimmung wohl mit Sicherheit behauptet werden. In der Art der Bacterienwirkung glaube ich jedoch nicht selten Abweichungen von den im keimenden Samen zu beobachtenden Auflösungserscheinungen gefunden zu haben, doch sind mir diese Differenzen nicht prägnant genug, um sie hier besonders zu besprechen.

Dagegen zeigen die Corrosionen, die an der Kartoffelstärke in Bacterienflüssigkeiten und Diastaseauszügen zu beobachten sind, äusserlich einen anderen Charakter als die Stärkelösung in der keimenden Knolle. Ein gleichmässiges Abschmelzen der Körner von aussen, wie dies für die Knolle als Regel hingestellt werden kann, scheint ausserhalb der Pflanze im Bacteriengewimmel und in Diastaseauszügen niemals vorzukommen.

Die erste Einwirkung der Bacterien auf Kartoffelstärke macht sich gewöhnlich in dem Auftreten zahlreicher, röthlich schimmernder kreisförmiger Partieen bemerkbar, von dem Aussehen kleiner, dicht gestellter Membrantüpfel in der Flächenansicht einer Zellwand (Fig. 15, Taf. XIII, und Fig. 86, Taf. XV). Wie eine genauere Untersuchung ergiebt, sind diese tüpfelartig erscheinenden Partieen kleine bohrlochartige Vertiefungen in der Stärkekornoberfläche, die nicht weit in das Innere eines Stärkekornes hineingehen; davon überzeugt man sich schon bei der Betrachtung der Bohrlöcher von oben durch verschiedene Einstellung des Objectivs.

Da bei längerer Einwirkung der Bacterien nicht nur die Tiefe, sondern auch der Umfang dieser Bohrlöcher zunimmt, so müssen die letzteren, besonders dort, wo sie ziemlich dicht stehen, seitlich

mit einander verschmelzen, indem die trennende Stärkesubstanz allmählich aufgelöst wird. Infolge dieser gegenseitigen Verschmelzung mehrerer kleiner Poren entstehen an der Stärkekornoberfläche grössere grubenförmige Vertiefungen mit unregelmässiger Begrenzungslinie.

Es kommen jedoch nicht selten Fälle zur Beobachtung, in denen die verhältnissmässig grossen grubenförmigen Vertiefungen nicht aus einer Verschmelzung kleiner Poren hervorgegangen sein können, vielmehr einer unmittelbaren Einwirkung der Bacterien auf einen grösseren Raum der Stärkekornoberfläche ihren Ursprung verdanken. Das folgt einmal aus dem regelmässigen Umriss dieser Corrosionen, vor Allem aber aus dem grossen Umfang, den sie schon bei geringer Tiefe besitzen. Diese grossen Gruben pflegen an der Oberfläche eines Stärkekornes nur in geringer Zahl, 2 bis 6, aufzutreten, während ein Korn von den kleinen, bohrlochartigen Vertiefungen wie übersät erscheint (Fig. 86, Taf. XV). Obgleich sich die hier skizzirten localen Corrosionen bei längerer Einwirkung der Bacterien vergrössern, ist es mir doch niemals gelungen, eine vollständige Auflösung eines Stärkekornes zu beobachten, obgleich ich während eines ganzen Sommers Stärke der Einwirkung von Bacterienflüssigkeit aussetzte, die von Zeit zu Zeit durch frische ersetzt wurde.

Ein ganz anderes Bild zeigen die Corrosionen, die an der Kartoffelstärke in Diastaseauszügen einzutreten pflegen. Da jedoch zur erschöpfenden Behandlung dieses Gegenstandes weitere, eingehende Untersuchungen erforderlich sind, will ich mich hier auf einige orientirende Bemerkungen beschränken.

Wie schon hervorgehoben, findet nach meinen Beobachtungen auch in Diastaseauszügen niemals ein gleichmässiges Abschmelzen der Körner von aussen statt. Es treten zunächst oberflächliche, in der Form höchst unregelmässige Corrosionen auf, die sich sehr bald nach dem Innern des Kornes vertiefen, um hier die verschiedenartigsten Gestalten anzunehmen. In den regelmässigsten Fällen zeigen sich die corrodirten Körner von Porencanälen durschsetzt, gewöhnlich aber kommt es zur Bildung verschiedener innerer Höhlungen.

Die Figuren 90, 93 und 94 auf Taf. XV enthalten drei in Diastaseauszügen stark angegriffene Körner; wie man sieht, sind durch das von aussen eindringende Ferment vorwiegend die innersten Partieen der Körner angegriffen worden. Derartige Corrosionen, wie sie an den Körnern

in Fig. 93 und 94 zu sehen sind, gehören in den Diastaseauszügen mit grösseren oder geringeren Abweichungen zu den ganz regelmässigen Erscheinungen, gelangen dagegen in der keimenden Kartoffelknolle niemals zur Beobachtung.

In seltenen Fällen habe ich an der Kartoffelstärke in Diastaseauszügen auch die Bildung oberflächlich verlaufender Furchen beobachtet, die bei reicher Verzweigung ein dichtes Maschennetz bilden, wie dies an dem in Fig. 13 Taf. XIII dargestellten Beispiel zu sehen ist.

Die excentrischen und deutlich geschichteten Stärkekörner aus den Zwiebelschuppen von Fritillaria imperialis werden ganz ausschliesslich durch solche oberflächlich verlaufende Furchen angegriffen, deren Bildung an dem dickeren Ende des Kornes beginnt (Fig. 14, Taf. XIII). Von hier aus verlängern und verzweigen sich die Furchen allmählich, bis die ganze Oberfläche eines Kornes von canalartigen Vertiefungen bedeckt ist. Da diese oberflächlichen Furchen bei ihrer Verlängerung auch an Tiefe zunehmen, so werden die Körner dadurch bei genügend langer Einwirkung der Diastase zuletzt gewissermaassen in Stücke zerschnitten. — Obgleich ich die Auflösung der Fritillaria-Stärke in der austreibenden Zwiebel nicht beobachtet habe, glaube ich doch nach meinen anderweitigen Erfahrungen mit ziemlicher Bestimmtheit behaupten zu können, dass die Stärkeauflösung ihrem äusseren Charakter nach bei der Keimung in anderer Weise erfolgt als ausserhalb der Pflanze in Diastaseauszügen.

Auf welche speciellen Ursachen die besprochenen Verschiedenheiten der Stärkeauflösung im Bacteriengewimmel, in Diastaseauszügen und bei der Keimung zurückzuführen sind, muss ich einstweilen dahingestellt sein lassen. Dies ist auch für den vorliegenden Gegenstand vorläufig von nebensächlicher Bedeutung. Hier ist vor Allem die Thatsache wichtig, dass auch bei der Auflösung der Stärke ausserhalb der Pflanze nichts von einem Auslaugungsprocess zu beobachten ist. Welchen Charakter die Corrosionen auch immer besitzen, stets handelt es sich um eine rein äusserliche Wirkung des Ferments.

---

9. Vorläufige Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen der vorausgehenden Capitel.

Auf eine übersichtliche Zusammenstellung der in den vorausgehenden Capiteln besprochenen verschiedenartigen Auflösungserscheinungen der Stärkekörner kann ich wohl verzichten und mich darauf beschränken, hier nochmals die für alle Corrosionen gültige Thatsache in den Vordergrund zu stellen. Wie an einer grossen Zahl von Pflanzen gezeigt wurde, wirkt das Diastaseferment in allen Fällen, so verschieden die entstehenden Corrosionen dem äusseren Charakter nach auch sein mögen, stets nur äusserlich, ohne in die Stärkesubstanz einzudringen. Die entgegenstehenden Angaben von Sachs, Baranetzky, Wigand und anderer Forscher beruhen, wie gezeigt wurde, entweder auf unrichtigen Beobachtungen oder auf irrigen Deutungen derselben, was insofern nicht zu verwundern ist, als man die auslaugende Wirkung des Diastaseferments von vornherein als etwas Selbstverständliches betrachtet und darum nicht die strenge mikroskopische Methode verfolgt hat, die zu einer sicheren und zuverlässigen Beurtheilung der oft äusserst complicirten Corrosionsbilder erforderlich ist.

Rein äusserlich betrachtet, kann die Wirkungsweise des Diastaseferments in den Fällen, in denen Porencanäle zur Ausbildung gelangen, mit der Thätigkeit gewisser Thiere, z. B. der Bohrmuschel, verglichen werden. Wie die letztere durch Herstellung von Gängen in das Holz eindringt, so verhält es sich auch in vielen Fällen mit der Wirkung des Ferments auf Stärkekörner. Wie die Holzmasse von der Bohrmuschel nur soweit zerstört wird, als sich die von ihr gebildeten Gänge erstrecken, genau so liegen auch die Verhältnisse bei den Stärkekörnern, deren Substanz ausserhalb der Fermentgänge unverändert bleibt. Es muss darum als verfehlt bezeichnet werden, wenn man die Wirkungsweise des Diastaseferments mit der Wirkung von Säuren und Alkalien auf Stärkekörner vergleicht. Säuren und Alkalien durchdringen die ganze Masse eines Kornes; dasselbe wird bei genügend langer Einwirkung und hinreichender Concentration der Säuren unter vorausgehenden Quellungserscheinungen in Wirklichkeit ausgelaugt, wobei die Schichtung der Körner in der Regel deutlicher hervortritt. Allein niemals

sind hierbei Erscheinungen zu beobachten, die auch nur eine entfernte Aehnlichkeit mit den vom Diastaseferment hervorgerufenen Veränderungen hätten. Durch geeignete Anwendung verschiedener Säuren erhält man schliesslich Stärkeskelette, die sich nicht mehr mit Jod blau färben, während die Bruchstücke der von Diastase corrodirten Körner bis zu den kleinsten nachweisbaren Partikelchen nicht nur die normale Blaufärbung mit Jod zeigen, sondern auch im übrigen Verhalten mit der Substanz intacter Körner übereinstimmen.

Die Wirkung des Diastaseferments ist also nicht blos bei denjenigen Pflanzen, deren Stärkekörner von aussen abschmelzen, eine rein äusserliche, sondern auch in allen Fällen, in denen locale Corrosionen in Gestalt von Porencanälen, grubenförmigen Vertiefungen u. s. w. zur Ausbildung gelangen. Was die Entstehung innerer Höhlungen betrifft, so kann dieselbe der gleichmässigen Auflösung eines Kornes von aussen als ein gleichmässiges Abschmelzen von innen direct gegenübergestellt werden, denn der ganze Unterschied beruht ja nur darauf, dass im letzteren Falle das Lösungsmittel durch selbstgeschaffene Porencanäle erst nach der Mitte des Kornes gelangen muss.

Nach dieser Orientirung über die Wirkungsweise der Diastase ergeben sich unmittelbar zwei nicht leicht zu beantwortende Fragen. Zunächst fragt es sich, warum das Diastaseferment nicht in die Stärkesubstanz einzudringen vermag, und sodann, welche speciellen Ursachen der Entstehung localer Corrosionen zu Grunde liegen. Beide Fragen sind insofern unabhängig von einander, als jede eine besondere Lösung verlangt. Denn mit der Klarlegung der Ursachen des Unvermögens der Diastase in die Stärkesubstanz einzudringen, haben wir natürlich noch keinen Einblick in die Entstehungsursachen localer Corrosionen gewonnen. Damit solche entstehen können, müssen besondere Bedingungen erfüllt sein, die von der Thatsache des Nichteindringens der Diastase in die Stärkekörner unabhängig sind. — Indem ich auf die erste Frage im experimentellen Theil dieser Arbeit zurückkomme, möchte ich die zweite hier nur soweit berücksichtigen, als kurz gezeigt werden soll, dass die verschiedenartigen Corrosionen nicht etwa aus besonderen Structurverhältnissen der Stärkekörner erklärt werden können.

Unwillkürlich ist man geneigt, die verschiedenen Auflösungs-

erscheinungen mit Differenzen in der Beschaffenheit der Stärkesubstanz an verschiedenen Regionen eines Kornes in Verbindung zu bringen. Derartige Beziehungen hat man bis jetzt für so selbstverständlich gehalten, dass man der Mühe überhoben zu sein glaubte, eine besondere Prüfung dieses Gegenstandes eintreten zu lassen. — Nach den Ergebnissen meiner Untersuchung glaube ich jedoch nicht, dass man auf diesem Wege allein zu einer allseitig befriedigenden Erklärung sämmtlicher Auflösungserscheinungen gelangen wird, wenn auch zuzugeben ist, dass der Verlauf der Stärkeauflösung in manchen Fällen von besonderen Structurverhältnissen eines Kornes mit bedingt ist. Wenn sich z. B. ein Porencanal im Innern eines Kornes höhlenartig erweitert, so geschieht das wahrscheinlich aus dem Grunde, weil hier die Stärkesubstanz weicher und darum der Diastase gegenüber weniger widerstandsfähig ist als der peripherische Theil eines Stärkekornes. Um dieselben Ursachen handelt es sich offenbar, wenn an den Seiten der Porencanäle oder an der Oberfläche gleichmässig abschmelzender Körner die weichen Schichten in einem grösseren Umfange vom Ferment aufgelöst werden als die dichten.

Es können jedoch nur in verhältnissmässig wenigen Fällen derartige Structurverhältnisse der Stärkekörner herangezogen werden, um den Verlauf der Stärkeauflösung zu erklären. Dass die Diastase z. B. die Stärkekörner der Gramineen an local begrenzten Partieen der Oberfläche angreift, um von hier aus durch Bildung gangartiger Canäle in das Innere der Körner vorzudringen, ist eine Thatsache, deren Ursachen unmöglich in besonderen Structurverhältnissen der Stärkekörner gesucht werden können. Denn solche, den äusseren Charakter der Fermentwirkung bedingende Structuranomalien müssten sich auch am intacten Korn in irgend einer Weise nachweisen lassen, besonders durch Anwendung Quellung erzeugender und auslaugend wirkender Mittel, wie Säuren und Alkalien; denn diejenigen Stellen, die wegen ihrer besonderen Structur der Diastase den geringsten Widerstand leisten, müssen dies auch einem beliebig anderen Mittel gegenüber thun. Was speciell die Säuren betrifft, so wissen wir, dass von denselben die notorisch weichen Schichten eines Kornes auch am stärksten angegriffen werden. Allein weder das Lichtbrechungsvermögen noch irgend eine andere Erscheinung deutet darauf hin, dass an den Stellen, an denen das Ferment die Stärke-

kornoberfläche zuerst angreift, sowie dort, wo die Porencanäle entstehen, die Stärkesubstanz von anderer Beschaffenheit sei als in den übrigen Theilen eines Kornes.

Was die lebende Zelle betrifft, so könnte man hier vielleicht von der Annahme ausgehen, dass die Diastase in der Umgebung eines Stärkekornes local erzeugt werde und darum auch nur local zur Wirkung komme. Allein mit dieser Vorstellung bekommt man keine das Korn nach den verschiedensten Richtungen durchsetzende Porencanäle, und sie wird gänzlich hinfällig, sobald es sich um Diastaselösungen handelt, in denen die Diastasetheilchen gleichmässig vertheilt sein müssen.

Dass die verschiedenartigen Corrosionen nicht, zum mindesten nicht ausschliesslich, aus der Structur der Stärkekörner erklärt werden können, folgt vor Allem auch aus der Thatsache, dass z. B. die Kartoffelstärke in der keimenden Knolle, in Diastaseauszügen und in Bacterienflüssigkeit dem äusseren Charakter nach in verschiedener Weise angegriffen wird.

Schliesslich möchte ich noch in aller Kürze eine Annahme berühren, auf die man möglicher Weise verfallen kann. Wo es sich um die Ausbildung von Porencanälen, wie bei den Gramineen und in anderen Fällen, handelt, könnte man vielleicht von der Vorstellung ausgehen, dass bereits im intacten Stärkekorn unsichtbare Porencanäle vorhanden seien, die nur von dem eindringenden Ferment erweitert und so sichtbar gemacht werden. Indessen ist auch an solche Verhältnisse in Wirklichkeit wohl kaum zu denken. Denn da sich das Ferment in solchen mikroskopisch nicht nachweisbaren Porencanälen ziemlich schnell ausbreiten muss, so müssten diese in ihrer ganzen Länge sichtbar werden, was bekanntlich nicht der Fall ist. Die Poren entstehen zunächst als kleine Vertiefungen der Oberfläche und zeigen eine überaus langsame Längenzunahme nach dem Innern des Kornes. Zudem würden solche unsichtbaren Poren, die während des Wachsthums der Stärkekörner zur Ausbildung gelangen, in die Kategorie jener Structuren gehören, die bei allen Körnern annähernd denselben Charakter zeigen müssen. Die Poren können nicht in dem einen Korn so und in einem anderen anders verlaufen.

Nach alledem kann es keinem Zweifel unterliegen, dass bei der

Entstehung localer Corrosionen ausser den besonderen Structurverhältnissen der Stärkekörner noch ganz andere Factoren in Frage kommen, Factoren, die ausserhalb des Stärkekorns in einer besonderen Angriffsweise des Ferments zu suchen sind. Es wird darum unsere nächste Aufgabe sein müssen, über das eigentliche Wesen des Diastaseferments möglichste Klarheit zu bekommen, um zu sehen, ob die Entstehung localer Corrosionen mit der Beschaffenheit der Diastase in irgend einem Zusammenhang steht.

Zweiter, experimenteller Theil.

1. Ueber die directe Betheiligung von Mikroorganismen oder allgemein von Protoplasmagebilden an der Auflösung der Stärke.

Nach den im vorausgehenden Theil dieser Arbeit ausführlich besprochenen Untersuchungsergebnissen betreffs der Stärkeauflösung in verschiedenen Pflanzengattungen scheint mir in erster Linie die Frage einer besonderen Prüfung zu bedürfen, ob und in welcher Weise das lebende Protoplasma an der eigenthümlichen Wirkung der Diastase auf Stärkekörner betheiligt ist. Vielleicht sind es Mikroorganismen oder in den Geweben der höher organisirten Pflanzen bestimmt geformte Protoplasmagebilde, aus denen die wirksame Diastase besteht. Die vielförmigen localen Corrosionen, die während der Stärkeauflösung zu beobachten sind, drängen wenigstens unwillkürlich zu der Annahme, dass es irgend welche lebenden Protoplasmatheilchen seien, durch deren Thätigkeit die Stärkekörner in so eigenthümlicher Weise zerstört werden. Mit einer solchen Annahme würde nicht nur das Unvermögen der Diastase, in die Stärkesubstanz einzudringen, sondern vor Allem auch die Bildung von Porencanälen, bohrlochartigen Vertiefungen etc. mit einem Schlage erklärt sein.

Was die Stärkezerstörung von Seiten der Bacterien betrifft, so braucht man sich ja nur vorzustellen, dass dieselben ein Stärkekorn in der verschiedensten Weise von aussen anfressen und durch Bildung von

Porencanälen in das Innere desselben eindringen; ein Canal kann sich dann nur in dem Maasse verlängern, als das Bacterium selber vordringt. Die Frage, auf welche Weise die eigenthümlichen Corrosionen von den Bacterien erzeugt werden, ist hierbei zunächst von nebensächlicher Bedeutung; man kann sich vorstellen, dass die Stärkesubstanz in unmittelbarer Nähe eines Bacteriums zum Zerfall gebracht werde, indem bestimmte Bewegungszustände der Molecüle verschiedener, das lebende Protoplasma zusammensetzender Substanzen auf die Stärkemolecüle übertragen werden, wie dies nach Nägeli bei der Gährung der Fall sein soll. Die Corrosionen können aber auch in anderer Weise, vielleicht durch Ausscheidung einer bestimmten chemischen Substanz erzeugt werden. Diese Substanz darf jedoch nur an der Oberfläche, also in unmittelbarer Nähe des Bacteriums, zur Wirkung gelangen und sich nicht von dem letzteren trennen lassen; denn alsdann hätte man eine einfache Diastaselösung, die für sich allein, wenn sie in die Stärkesubstanz eindringt, nicht zur Bildung von Porencanälen etc. führen kann.

Da nun nach meinen Untersuchungen Mikroorganismen an der Stärkeauflösung in den Zellen höherer Pflanzen weder direct noch indirect betheiligt sind, so wäre man hier zu der Annahme bestimmt geformter Protoplasmatheilchen gezwungen, die eine gleiche oder ähnliche Wirkung wie Bacterien ausüben. Im Gegensatz zu den Schimper'schen Stärkebildnern könnte man diese vermeintlichen Protoplasmatheilchen als Stärkezerstörer bezeichnen.

Die meisten localen Corrosionen der Stärkekörner würden, wie gesagt, vom botanischen Standpunkte aus verständlich und einigermaassen erklärt sein, wenn die Entstehung derselben auf den directen Angriff von lebendem Protoplasma zurückgeführt werden könnte. Es kämen dann bei der Stärkeauflösung ähnliche oder dieselben Factoren in Frage, die auch bei der Zerstörung der Zellwände von Seiten verschiedener Pilze eine Rolle spielen. Wie diese eine Zellwand durchwachsen und so Porencanäle in derselben erzeugen, so müssten sich auch die protoplasmatischen Stärkezerstörer in das Innere eines Stärkekornes hineinfressen.

Die hier entwickelte Anschauung über die Natur und Wirkungsweise der Diastase ist im Grunde genommen nicht neu. So will

Marcano[1]) in der That ein solches Anfressen der Stärke von Seiten der Bacterien auch in den Geweben höherer Pflanzen direct gesehen und ferner beobachtet haben, wie die Bacterien in den Canälen vordringen. Auch von Wigand, auf dessen Arbeit wir nachher noch zurückkommen, werden verschiedene Beobachtungen angeführt, die ein directes Anfressen der Stärke von Seiten der Bacterien beweisen sollen[2]). — Von besonderem Interesse aber ist die Thatsache, dass die Diastase mit lebendem Protoplasma auch von solchen Forschern identificirt wurde, die, wie es scheint, keine Kenntniss hatten von den verschiedenen localen Corrosionen, die während der Stärkeauflösung einzutreten pflegen. So vertritt Adolf Mayer[3]) in seiner „Enzymologie" die Ansicht, dass die eigenthümliche Wirkung der Fermente nur dann zu verstehen sei, wenn man annehme, dass dieselben aus lebendem Protoplasma beständen. Nachdem er die Molecüle eines Ferments als „Protoplasmamolecüle" bezeichnet hat, äussert er sich über das Wesen eines Ferments p. 120 folgendermaassen: „Dann könnte man den bestehenden Verband zwischen Leben und Fermenten auch so ausdrücken, dass die letzteren Organismenreste oder Protoplasmasplitter seien, vielleicht von sehr wechselnder Zusammensetzung, aber noch mit einem Theil der charakteristischen intramolecularen Bewegung begabt, welche in dem Organismus für einen Theil das Leben ausmachen."

In einem ähnlichen Gedankengange bewegen sich offenbar Brown und Heron, wenn sie den Eiweisssubstanzen, aus denen die Diastase bestehen soll, Eigenschaften des lebenden Protoplasmas zuschreiben[4]): „Möglich ist, dass diese Körper aus Theilen des Zellenplasmas (welches noch einige von den Eigenschaften des lebenden Protoplasmas zurückbehalten hat) bestehen." — Dass es keinen Sinn hat, von „Protoplasmamolecülen" zu sprechen resp. den Molecülen irgend welcher Substanzen Eigenschaften des lebenden Proto-

---

1) Marcano, Fermentation de la fécule (Comptes rendus, 1882, T. 95).

2) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus (Forschungen aus dem bot. Garten zu Marburg, III. Heft, p. 126 ff.).

3) Adolf Mayer, Die Lehre von den chemischen Fermenten oder Enzymologie, Heidelberg 1882, p. 120 ff.

4) Horace T. Brown und John Heron, Beiträge zur Geschichte der Stärke und der Verwandlungen derselben. Justus Liebig's Annalen der Chemie, Bd. 199, p. 251.

plasmas zuzuschreiben, bedarf für den Botaniker keiner besonderen Auseinandersetzung. Das Molecül als solches kann stets nur chemisch-physikalische Eigenschaften besitzen, ganz gleichgültig, wie und wo dasselbe entstanden ist.

Was nun die Anschauung Wigand's über das Wesen und die Wirkungsweise der Fermente betrifft, so ist es nicht ganz leicht, sich in dessen Auseinandersetzungen zurecht zu finden, wenn man ihm keine directen Widersprüche vorwerfen will. Während Wigand auf den ersten Seiten seiner „Theorie der Fermentwirkungen" die Fermente an mehr als einer Stelle mit lebenden Organismen identificirt, bezeichnet er an anderen Orten erst ein von diesen abgeschiedenes flüssiges Secret als Ferment, allerdings mit dem Vorbehalt, „dass von einem Ferment im bezeichneten Sinne nur dann die Rede sein kann, wenn es ein lebendiger Organismus ist" [1]). In demselben Sinne heisst es kurz vorher: „Nur deshalb vermag ein Ferment von verschwindend geringer Grösse einen so unverhältnissmässig grossen Effect zu bewirken, weil und insofern dasselbe ein lebendiger Organismus ist und als solcher im Stande ist, sich fortwährend zu verjüngen . . ." Wie mir scheint, hält Wigand im ersten Theil seiner Theorie die Wirkung eines Ferments und die Bildung desselben nicht scharf genug aus einander. Für die Definition eines Ferments als lebendigen Organismus fehlt jede Grundlage, wenn man die später folgenden Auseinandersetzungen Wigand's in Betracht zieht, wonach die stärkelösende Wirkung eben nicht von den Organismen selber, sondern von einer rein chemischen Substanz ausgehen soll, die von jenen abgeschieden wird. „Die Erzeugung des Diastaseferments hängt ab von der Natur der Bacterien und von den nöthigen Lebensbedingungen — die Wirkung des Ferments ist aber von den Bacterien unabhängig." Ist diese Angabe richtig, dann verstehe ich nicht, wie man ein Ferment als lebendigen Organismus bezeichnen kann; man könnte mit demselben Rechte alle Secrete, die von lebenden Zellen ausgeschieden werden, als lebendige Organismen definiren.

Dass die Stärkeauflösung ohne directen Angriff der Bacterien nur unter der Einwirkung eines flüssigen Secrets vor sich geht,

1) A. Wigand, Das Protoplasma als Fermentorganismus, p. 166.

sucht Wigand noch durch einen besonderen Versuch ausser Zweifel zu stellen, indem er Thoncylinder mit Wasser und Fleisch füllte und darauf die feuchte Aussenfläche derselben mit Weizenstärke bestrich. „Nachdem im Innern eine reichliche Bacterienbildung mit Fäulniss eingetreten war, wurde die anhängende Stärke untersucht; es fanden sich darunter viele stark corrodirte Körner, aber keine Bacterien, zum Zeichen, dass die durch die Thonwand filtrirte Flüssigkeit flüssiges Ferment enthält, welchem die Stärkelösung zuzuschreiben ist" (l. c. p. 168). Da Wigand versäumt hat durch Anstellung von Controlversuchen zu prüfen, ob sich an den Stärkekörnern nicht auch Corrosionen gezeigt haben würden, wenn er die Thoncylinder einfach mit destillirtem Wasser gefüllt hätte, so sind seine Schlussfolgerungen ziemlich werthlos. Die Behauptung, nach welcher sich in dem Stärkebrei an der Oberfläche der Thoncylinder keine Bacterien eingefunden haben sollen, steht mit allen unseren Erfahrungen über Bacterienentwickelung in directem Widerspruch. Mit Stärkebrei bestrichene Thoncylinder können geradezu als Fangapparate für Bacterien bezeichnet werden. Darum kann ich es trotz gegentheiliger Behauptung nicht als ausgeschlossen betrachten, dass die beobachteten Corrosionen der Stärkekörner von Bacterien herrühren, die an der Oberfläche des befeuchteten Thoncylinders zur Entwickelung gelangten, um so mehr, als der Versuch mehrere Tage dauerte und die benutzte Weizenstärke verhältnissmässig leicht von Bacterien angegriffen wird. Dazu kommt noch, dass die Diastase, wie wir später zeigen werden, nur unter bestimmten Bedingungen engporige Thonzellwände zu passiren vermag.

Bezüglich der Wigand'schen Ansicht über die Betheiligung der Bacterien am Keimungsprocess der höheren Pflanzen kann ich mich auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken, da dieser Gegenstand, streng genommen, nicht hierher gehört.

Nach Wigand sollen bekanntlich durch eine nicht näher präcisirte Umformung des Protoplasmas in den Zellen höherer Pflanzen Mikroorganismen entstehen, von denen ein stärkelösendes Ferment abgeschieden und so erst ein normaler Keimungsprocess möglich gemacht wird. Aehnliche Beziehungen sollen auch zwischen der Fäulniss und den Bacterien bestehen, insofern als aus dem todten und in Zerfall begriffenen Protoplasma Mikroorganismen

hervorgehen, von denen dann bestimmte Wirkungen auf das Substrat ausgeübt werden. Bei der Vertheidigung dieser Ansicht macht Wigand den Begründern der herrschenden Lehre von den Ursachen der Fäulniss den Vorwurf eines unlogischen Verfahrens, weil man aus dem Umstande, dass Fäulnissprocesse nur bei Anwesenheit von Mikroorganismen auftreten, noch nicht auf einen derartigen causalen Zusammenhang der Erscheinung schliessen könne, dass die Bacterien die Ursache und die eintretende Fäulniss die Wirkung jener sei. Ob dieser Vorwurf berechtigt ist, kann hier unerörtert bleiben, da die von Wigand gemachten Aussetzungen, auch wenn sie logisch richtig wären, überhaupt keinen reellen Sinn haben.

Man kann bekanntlich mit der schärfsten Logik die grössten Irrthümer zu Tage fördern, wenn die Prämissen, von denen man ausgeht, unhaltbar sind. Dies ist bei Wigand der Fall; denn nach dem bisherigen Gang der Naturforschung müssen die Wigand'schen Vorstellungen einfach in das Reich der Unmöglichkeit verwiesen werden. Durch die Thätigkeit des lebenden Protoplasmas können wohl verschiedene Substanzen zum Zerfall gebracht werden, gänzlich unbegreiflich muss es dagegen bleiben, wie aus zerfallendem, todtem Protoplasma oder aus Eiweiss Lebewesen von der Organisationsstufe der Bacterien hervorgehen können. Meiner Meinung nach gelangt man mit derartigen Anschauungen direct in das Reich der Wunder, in das Gebiet der übernatürlichen Dinge, mit denen sich wohl die Mythologie, aber keine ernste Naturforschung befassen kann.

Wie übrigens auf der Hand liegt, ist man keineswegs zur Annahme der von Wigand behaupteten Entstehungsweise der Bacterien gezwungen, auch wenn eine Betheiligung von Mikroorganismen am Keimungsprocess sicher nachgewiesen wäre. Die fraglichen Bacterien könnten ja mit den höheren Pflanzen in ein bestimmtes symbiotisches Verhältniss getreten sein, derart, dass sie ausserhalb ihrer Wirthspflanze nicht mehr zu existiren vermögen.

Selbstverständlich mussten die vermeintlichen Bacterien zu einer früheren Zeitperiode im Stande sein auch ausserhalb ihrer Wirthspflanze zu leben, da sich das fragliche symbiotische Verhältniss erst im Laufe der phylogenetischen Entwickelung herausbilden konnte. Denn es ist nicht anzunehmen, dass zu irgend einer Zeit Pflanzen

entstanden sein könnten, die von Hause aus unfähig waren ihre eigenen Reservestoffe in Lösung überzuführen.

Noch einfacher lägen die Verhältnisse, wenn die Bacterien vor oder beim Beginn der Keimung von aussen in die Pflanze eindringen würden. Doch hat es keinen Zweck, diese und andere Möglichkeiten zu erörtern, da sich nach meinen Untersuchungen Mikroorganismen an der Stärkeauflösung in den Geweben höherer Pflanzen nicht betheiligen. Die diesbezüglichen Angaben Wigand's müssen auf irrigen Beobachtungen beruhen. Vielleicht hat sich derselbe durch die Bewegung kleiner Körperchen täuschen lassen, die alles Mögliche sein können, nur keine Bacterien. — Wie ich glaube, geht schon aus dem Mitgetheilten zur Genüge hervor, dass wir über das eigentliche Wesen der Diastase, speciell über die Frage, in welcher Weise das lebende Protoplasma an der Stärkeauflösung betheiligt ist, immer noch nicht völlig im Klaren sind.

Um über diesen Punkt eine vorläufige Orientirung zu gewinnen, suchte ich festzustellen, ob und welche Differenzen in der Wirkungsintensität eines bestimmten Quantums einer Bacterienflüssigkeit, verglichen mit einem gleichen Quantum eines wässerigen Diastaseauszuges, vorhanden sind. Dass solche Vergleiche nur Werth haben, wenn die Differenzen sehr gross sind, versteht sich nach Lage der Dinge von selbst. — Etwa $1/2$ kg feingemahlenes Gerstenmalz wurde mit 1 Liter Wasser verrührt und einen Tag stehen gelassen. Dann wurde die Flüssigkeit durch ein feines Leinwandtuch abgepresst, wiederholt filtrirt und darauf ohne weitere Behandlung direct zu den Versuchen benutzt. Soweit es sich um rein physiologische Untersuchungen handelt, ist nach meinen Erfahrungen die verschiedene Behandlungsweise der Diastase, z. B. Fällen derselben mit Alkohol und Wiederauflösen in Wasser etc., gänzlich zwecklos. — Bacterienflüssigkeit wurde in der bekannten Weise gewonnen, indem ich Kartoffelstücke, Samen etc. in Wasser der Fäulniss überliess.

Mit einer solchen Bacterienflüssigkeit ist man nun im Stande, eine bestimmte Menge von Stärkekleister in Zucker überzuführen. Ich benutzte zu meinen Versuchen einen ca. 0,5 procentigen Weizenstärkekleister, der durch ein 5 Minuten langes Kochen gewonnen wurde. Setzt man zu 10 ccm dieses Kleisters etwa 1 ccm einer Flüssigkeit mit dem bekannten Bacteriengewimmel, so zeigt der

Kleister nach einiger Zeit nicht mehr die charakteristische Jodreaction; gewöhnlich muss man 24 Stunden und noch länger warten, bis eine deutlich wahrnehmbare Aenderung in der Blaufärbung nach Jodzusatz zu constatiren ist. Wie schon von Wortmann[1]) ganz zutreffend angegeben wird, nimmt der Stärkekleister allmählich eine hellweinrothe Farbe an. Die mikroskopische Untersuchung eines solchen Kleisters zeigt, dass noch eine Anzahl kleiner, stark gequollener Stärkekörner in der Flüssigkeit vorhanden sind; diese färben sich bei Jodzusatz zwar deutlich blau, ihre Zahl ist jedoch zu gering, um der ganzen Flüssigkeit eine blaue Farbe zu verleihen.

Ganz anders ist das Resultat, wenn man zu den Versuchen statt der Bacterienflüssigkeit ein gleiches Quantum eines wässerigen Diastaseauszuges benutzt. Dann wird die Jodreaction des Stärkekleisters in wenigen Minuten zum vollständigen Verschwinden gebracht. Der Stärkekleister färbt sich zunächst rothbraun, um bald eine hellgelbe Farbe anzunehmen, ein Resultat, das durch eine vielfache Wiederholung der Versuche nur bestätigt werden konnte. Die Wirkung einer Bacterienflüssigkeit bleibt hinter derjenigen eines gleichen Quantums einer Diastaselösung aus Gerstenmalz weit zurück. Dieses Ergebniss wird von der Concentration der Diastase sehr wenig beeinflusst, diese darf in sehr weiten Grenzen schwanken.

Dasselbe ergiebt sich, wenn man die Wirkung von Bacterienflüssigkeit mit derjenigen eines Diastaseauszuges auf intacte Stärkekörner vergleicht. Wegen ihrer relativ leichten Angreifbarkeit benutzte ich zu solchen Versuchen die Buchweizen- und Weizenstärke. Die erstere zeigt in Diastase schon nach 6 bis 10 Stunden ganz deutliche Spuren von Corrosionen, während sich solche im Bacteriengewimmel nicht constatiren lassen, von einzelnen Körnern abgesehen. Bei der Weizenstärke muss man zwar etwas länger auf ein Resultat warten, allein die Differenzen in der Wirkungsintensität von Bacterienflüssigkeiten und Diastaseauszügen sind auch hier ganz auffallende.

Wie sich aus diesen Versuchen ohne Weiteres ergiebt, kann die intensive Wirkung der Diastase auf Stärkekleister und intacte Stärkekörner nicht von Bacterien ausgehen, die mit den in der Bacterienflüssigkeit vorhandenen identisch sind. Will man darum auch die

---

1) J. Wortmann, Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 6, p. 295.

Stärkeauflösung während der Keimung auf die Thätigkeit von Bacterien zurückführen, so müssen diese eine ganz specifische, stärkelösende Wirkung besitzen, die mit derjenigen gewöhnlicher Bacterien nicht zu vergleichen ist. Dasselbe gilt natürlich von irgend welchen Protoplasmatheilchen, wenn man solche als Stärkezerstörer annimmt.

Diese vermeintlichen Stärkezerstörer unterscheiden sich auch noch insofern sehr wesentlich von gewöhnlichen Bacterien, als sie ausserhalb der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung liegen. Es ist mir wenigstens mit den besten optischen Hülfsmitteln nicht gelungen, irgend welche Protoplasmagebilde in den Porencanälen corrodirter Körner nachzuweisen, abgesehen von den mit weiten Eingangs- und Ausgangsöffnungen versehenen inneren Hohlräumen, in die ja bei der Präparation alle möglichen kleineren Formgebilde des Plasmas leicht hineinkommen können. Ein Nachweis von Protoplasma müsste sehr leicht gelingen, wenn man corrodirte Körner mit verdünnter Jodlösung behandelt; da sich bei dieser Behandlung die Stärkesubstanz blau färbt, während Protoplasmatheilchen einen bräunlichen Ton annehmen, so müssten diese in den Porencanälen deutlich hervortreten, vorausgesetzt, dass sie innerhalb der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung liegen. — Wie ich meine, lassen schon diese Thatsachen mit ziemlicher Sicherheit darauf schliessen, dass das Protoplasma auch während der Keimung nicht direct an der Stärkeauflösung betheiligt ist.

Es würde ja leicht sein, sich in Kürze über diesen heiklen Gegenstand völlige Klarheit zu verschaffen, wenn man durch Sterilisation der Diastaseauszüge vermittelst hoher Temperaturen das Protoplasma tödten könnte. Leider ist dieses Verfahren nicht anwendbar, weil damit auch die Diastase zerstört werden würde, eine Thatsache, die unter andern Ad. Mayer veranlasst zu haben scheint, die Diastase mit lebendem Protoplasma zu identificiren.

Ich suchte daher den umgekehrten Weg einzuschlagen, indem ich wässerige Diastaseauszüge so niedrigen Temperaturgraden aussetzte, dass die Lebensthätigkeit irgend welcher Protoplasmagebilde als vollkommen erloschen betrachtet werden konnte. Mit Rücksicht auf ähnliche Versuche Detmer's[1]) kann ich in der Mittheilung

1) W. Detmer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Processe. Jena, 1884, p. 31 ff.

meiner Ergebnisse sehr kurz sein. Frisch bereitete wässerige Diastaseauszüge wurden mehrere Stunden einer Temperatur von — 12 bis — 15 ° C. ausgesetzt, dann möglichst schnell auf + 25° erwärmt und sofort zu Versuchen auf Stärkekleister verwandt. Hierbei zeigte sich, dass die Diastase durch das Gefrieren an ihrer Wirkung kaum eine Einbusse erlitten hatte, ein Resultat, das mit einer Protoplasmanatur der Diastase nicht gut vereinbar ist. Wenn man auch nicht annehmen will, dass Protoplasma durch Temperaturen von — 12 bis — 15 ° vollständig getödtet werde, so dauert es doch erfahrungsgemäss stets längere Zeit, bis dasselbe beim Uebergang aus so niederen Temperaturen in höhere seine alte Lebensenergie wiedergewonnen hat; eine so intensive Wirkung unmittelbar nach dem gefrorenen Zustande, wie sie die Diastase zeigt, ist daher für Protoplasma wohl kaum anzunehmen. Dazu kommt noch, dass die Diastase auch bei Temperaturen von — 3 bis 0 ° C. eine deutliche Wirkung auf Stärkekleister ausübt. Diastase, die zuvor längere Zeit einer Temperatur von — 12 bis —15 ° C. ausgesetzt war, wurde allmählich auf — 3 ° erwärmt, bei welcher Temperatur die gefrorene Diastase in den flüssigen Zustand übergeht. Dann wurde frisch gekochter Kleister auf dieselbe Temperatur (— 3 °) gebracht und 10 ccm dieses Kleisters 1 ccm Diastase zugesetzt. Es darf nun wohl angenommen werden, dass bei einer solchen Temperatur die Lebensthätigkeit von Protoplasma so gut wie vollständig erloschen ist; das letztere befindet sich im Zustand der Starre. Was die Bacterien betrifft, so wissen wir, dass deren Bewegung und Vermehrung schon bei einer viel höheren Temperatur aufhört. Wenn daher bei — 3 ° eine Diastasewirkung zu beobachten ist, so kann dieselbe wohl kaum von irgend welchen Protoplasmagebilden ausgehen.

Nun ist zwar nach meinen Versuchen die Wirkung der Diastase bei einer Temperatur von — 3 bis 0 ° äusserst verlangsamt, allein sie ist nicht gänzlich aufgehoben, wovon man sich schon durch die einfache Jodprobe ganz deutlich überzeugen kann. Schon nach einer Einwirkung der Diastase von 20 bis 30 Minuten zeigt der Stärkekleister nicht mehr die ursprüngliche Jodreaction, nimmt vielmehr eine schmutzigbraune Farbe an. — Da es nicht möglich war, mit den mir zu Gebote stehenden Mitteln im Sommer die Temperatur längere Zeit auf — 3 ° resp. unter 0 ° zu halten, so konnte

ich die Versuche leider nicht auf intacte Stärkekörner ausdehnen.

Ich halte es nicht für überflüssig, bei dieser Gelegenheit an die interessanten und werthvollen Untersuchungen von Hermann Müller-Thurgau[1]) über das Süsswerden der Kartoffeln zu erinnern, weil es sich hier um eine Erscheinung handelt, deren Ursachen zum Theil in der stärkeumwandelnden Thätigkeit der Diastase bei niederen Temperaturen zu suchen sind. Von Herm. Müller ist bereits die Bedeutung dieses Factors ganz richtig hervorgehoben worden. Da bei niederen Temperaturen von 0 bis 6° die Lebensthätigkeit, vor Allem der Athmungsprocess des Protoplasmas, also auch der Zuckerverbrauch sehr herabgesetzt ist, während die Diastasewirkung, d. h. die Ueberführung von Stärke in Zucker, fortdauert, so muss es zu einer Anhäufung des letzteren kommen.

Uebrigens giebt es noch eine Reihe anderer Thatsachen, aus denen mit Bestimmtheit gefolgert werden kann, dass die Diastase in ihrer Wirkung von lebendem Protoplasma völlig unabhängig sein muss und darum auch nicht mit letzterem identificirt werden kann. Ich möchte in dieser Hinsicht vor Allem den Umstand hervorheben, dass die Diastase auch nach Zerstörung der Zellstructur längere Zeit hindurch ihre Wirksamkeit behält, nach meinen Erfahrungen in allen Fällen mehrere Wochen. Diese Wirkung wird auch nicht zerstört durch das Gewimmel von Bacterien und Hefezellen, die sich sehr bald in wässerigen Diastaseauszügen einstellen. Will man nun auch bezüglich der Stärkeauflösung ausserhalb der Pflanze an der Vorstellung eines directen Eingriffs protoplasmatischer Stärkezerstörer festhalten, so ist man zu der Annahme gezwungen, dass die letzteren auch nach Zerstörung der Zellstructur ihre stärkelösende Thätigkeit fortzusetzen vermögen. Das ist in der That die Vorstellung von Ad. Mayer; dieselbe steht aber im Widerspruch mit allen unseren Erfahrungen über das Verhalten irgend welcher Plasma-

---

1) H. Müller-Thurgau, Ueber Zuckeranhäufung in Pflanzentheilen in Folge niederer Temperatur (Thiel's landwirthschaftliche Jahrb., Bd. 11), p. 767. — Vergl. auch die Abhandlung in Bd. 14 derselben Jahrb. p. 795: Zur Kenntniss der Wirkung von Diastase und Invertin, besonders in pflanzenphysiologischer Hinsicht.

gebilde aus den Zellen höherer Pflanzen. Chlorophyllkörner vermögen nach Zerstörung der Zelle, wenn überhaupt, nur noch kurze Zeit zu assimiliren, und was die Stärkebildner betrifft, so sind dieselben im isolirten Zustande ohne Zweifel unfähig Stärke zu bilden. Und so müsste auch die stärkelösende Fähigkeit der vermeintlichen Stärkezerstörer mit dem Tode der Zellen erlöschen.

Vielleicht wird man hier einwenden, dass die protoplasmatischen Stärkezerstörer aus den Zellen der höher organisirten Pflanzen in den wässserigen Diastaseauszügen thatsächlich bald ihre Wirksamkeit einbüssen, dass dies aber nicht zu bemerken sei, weil die unwirksam werdende Diastase durch ähnlich wirkende Bacterien, die in der Flüssigkeit zur Entwickelung gelangen, ersetzt werde. Dieser Einwand ist jedoch hinfällig, denn wie aus unseren oben mitgetheilten Versuchen ganz deutlich hervorgeht, besitzt eine Bacterienflüssigkeit auf Stärkekleister eine erheblich geringere Wirkung als ein gleiches Quantum einer Diastaselösung aus Gerstensamen; die Wirkung der letzteren müsste demnach bald nach ihrer Herstellung bedeutend sinken, was indessen nicht der Fall ist; sie erfährt im Gegentheil nicht selten eine deutlich wahrnehmbare Steigerung.

Schliesslich will ich unter anderen noch die bekannte Thatsache betonen, dass die Diastase durch Behandlung mit absolutem Alkohol nicht zerstört wird. Dieser ist aber für wasserdurchtränktes Protoplasma ein absolut tödtlich wirkendes Gift. Lässt man Diastaselösungen tropfenweise in absoluten Alkohol fallen, dann entsteht ein amorpher Niederschlag, der auch nach längerem Aufenthalt in Alkohol seine fermentative Wirkung nicht verliert.

Nach alledem ist also die Vorstellung, dass das lebende Protoplasma an der Stärkeauflösung irgendwie direct betheiligt sein könnte, definitiv fallen zu lassen. Da ferner die Entstehung der verschiedenen localen Corrosionen, wie ausführlich gezeigt wurde, nicht aus Structuranomalien der Stärkekörner erklärt werden kann, so stehen wir nunmehr in der Frage nach den Ursachen der eigenthümlichen Art der Stärkeauflösung vor einem Problem, dessen völlig befriedigende Lösung nicht so bald gelingen wird.

---

2. Ueber den Durchgang der Diastase durch Pergamentpapier, engporige Thonzellen und Cellulosewände.

Da nach dem soeben gewonnenen Ergebniss die Stärkeauflösung in allen Fällen ohne directen Eingriff des lebenden Protoplasmas erfolgt, so sind wir nunmehr gezwungen, nicht nur für das Unvermögen der Diastase in die Stärkesubstanz einzudringen, sondern auch für die Entstehung localer Corrosionen andere Ursachen aufzusuchen. Die Diastase ist eine nur mit chemisch-physikalischen Eigenschaften begabte Substanz, und es fragt sich, ob die physikalische Beschaffenheit derselben irgend welche Anhaltspunkte bietet, aus denen zunächst ihr Nichteindringen in die Stärkesubstanz erklärt werden kann. Zur Orientirung nach dieser Richtung wurde eine Reihe von Versuchen über die Diffusion der Diastase durch engporige Scheidewände, wie Pergamentpapier und Thonzellen, ausgeführt, deren Ergebniss im Folgenden kurz besprochen werden soll.

Kleine, etwa 1 ccm Diastaselösung enthaltende Gläschen wurden mit vorher angefeuchtetem Pergamentpapier dicht verbunden und dann horizontal in kleine Bechergläser gelegt, die etwa 4 ccm eines 0,5 procentigen Stärkekleisters enthielten. Wie ich mich durch Vorversuche überzeugte, waren einige Tropfen der benutzten Diastaselösung im Stande, die Jodreaction von 5 ccm Stärkekleister in 2—3 Minuten vollständig zum Verschwinden zu bringen. Trennt man aber Diastase und Stärkekleister in der angegebenen Weise durch Pergamentpapier, dann dauert es nach meinen Versuchen in der Regel 2—3 Stunden, bis die Umwandlung des Kleisters in den Bechergläsern stattgefunden hat. Es ist dies ein Beweis, dass die Diastase selbst durch die verhältnissmässig grossen Poren von Pergamentpapier schwer hindurch geht. Meine Ergebnisse stehen hier nicht ganz im Einklange mit den von Hirschfeld[1]) gemachten Angaben, nach welchen Pergamentpapier für Diastase so gut wie undurchlässig sein soll; es war demselben wenigstens nicht möglich, nach sechs- bis zwölfstündiger Versuchsdauer irgend einen Austritt von Diastase zu constatiren.

1) E. Hirschfeld, Ueber die chemische Natur der vegetabilischen Diastase. Pflüger's Archiv für Physiologie, 1886, Bd. 39, p. 513.

Ein ähnliches Resultat ergaben verschiedene Versuche mit sogenannten Bacterienfiltern. Es sind dies ca. 15 cm lange, nur an einem Ende offene Porzellanröhrchen mit etwa 2 mm dicken porösen Wänden und einem Lumen von 2 mm Durchmesser. In der Bacteriologie werden bekanntlich diese Filter dazu benutzt, um eine Flüssigkeit, die man nicht durch Anwendung hoher Temperaturen sterilisiren kann oder will, von Bacterien zu befreien. Bringt man in diese Bacterienfilter vermittelst eines dünnen Capillarröhrchens eine wässerige Diastaselösung, so wird dieselbe von den porösen Porzellanwänden schnell aufgesogen; beim weiteren Nachfüllen von Diastase tritt die Flüssigkeit schliesslich an der Oberfläche der Filter in Form kleiner Tröpfchen aus, die herabfliessen und sich am unteren Ende des Porzellanröhrchens zu einem grossen Tropfen sammeln, der etwa in Zeiträumen von 20—30 Minuten abfällt. Wie sich durch Versuche mit diesen Tropfen auf Stärkekleister leicht feststellen lässt, besitzt die aus den Filtern austretende Flüssigkeit nur noch Spuren von Diastase. Die Diffusion der letzteren wird noch geringer, wenn man die mit Diastase gefüllten Thonröhrchen (sobald das Schwitzen ihrer Oberfläche andeutet, dass sich die Capillaren gefüllt haben) in Stärkekleister enthaltende Reagensgläschen hängt. Bei dieser Versuchsanstellung dauert es nicht selten 8—12 Stunden, bis an der Veränderung des Stärkekleisters ein Austritt von Diastase aus den Bacterienfiltern constatirt werden kann.

Die Diffusion der Diastase ist gänzlich aufgehoben, wenn man zu den Versuchen statt der verhältnissmässig grobporigen Porzellanröhrchen Thonzellen benutzt, wie sie zur Herstellung elektrischer Batterieen verwandt werden. Solche Thonzellen von verschiedener Weite und Länge wurden mit Diastaselösung angefüllt und dann kurze Zeit stehen gelassen, bis aus dem Feuchtwerden ihrer Oberfläche geschlossen werden konnte, dass sich die Poren der Wände mit Flüssigkeit gefüllt hatten. Dann wurden diese Thonzellen in Stärkekleister enthaltende Bechergläser gestellt, wobei dafür gesorgt wurde, dass die Flüssigkeiten beider Behälter dasselbe Niveau hatten. Um die etwa austretende Diastase auf ein möglichst geringes Quantum von Kleister einwirken zu lassen, wurden jedesmal Bechergläser von einer solchen Grösse genommen, dass die Thonzellen nur von einem dünnen Mantel von Stärkekleister umgeben

waren. Andere Vorkehrungen, die noch getroffen wurden, wie z. B. vorheriges Auskochen der Thonzellen etc., lasse ich unerwähnt, da sie für das schliessliche Resultat der Versuche ohne Bedeutung sind.

Sämmtliche in dieser Weise ausgeführten Versuche ergaben ein übereinstimmendes Resultat. Ein Austritt von Diastase aus den Thonzellen fand in keinem Versuche statt, obgleich alle über mehrere Tage ausgedehnt wurden. — Um eine möglicher Weise vorhandene ungünstige Einwirkung des Kleisters auf die Diffusion der Diastase zu beseitigen, stellte ich die Thoncylinder in destillirtes Wasser. Allein auch unter diesen Umständen waren niemals auch nur Spuren von Diastase selbst nach achttägiger Versuchsdauer im destillirten Wasser nachzuweisen.

Ein anderes Resultat ergiebt sich, wenn man die Diffusion der Diastase unter Anwendung von Druck vor sich gehen lässt. Schon ein verhältnissmässig geringer Druck ist hinreichend, um deutliche Spuren von Diastase aus den Thonzellen austreten zu lassen. Stellt man z. B. 20—25 cm lange, mit Diastaselösung gefüllte Thoncylinder unter Ausschluss von Verdunstung in leere Bechergläser, so erhält man nach Verlauf mehrerer Stunden ein Quantum durchfiltrirter Flüssigkeit, die stets Spuren von Diastase enthält, wie sich ja leicht an der Wirkung der in den Bechergläsern angesammelten Flüssigkeit auf Stärkekleister constatiren lässt. Dieses Ergebniss beweist, dass der Nichtaustritt von Diastase bei Ausschluss von Druck nicht etwa aus einer schädlichen Einwirkung der Thonmasse auf die Diastase erklärt werden kann.

Zur Filtration der Diastase durch Zellwände wurde von mir das Edeltannenholz benutzt, weil dasselbe frei von Gummigängen ist und ausserdem keine offenen Tracheidenstränge besitzen soll. Durch solide Cylinder dieses Holzes können also nur wässerige Lösungen hindurchgepresst werden, die im Stande sind, die Schliesshäute der behöften Poren zu passiren.

Leider sind derartige Versuche mit Diastase viel schwieriger, als dies auf den ersten Blick scheinen mag. Es kommt nämlich darauf an, zwischen Holz- und Glas- oder Metallrohr absolut dichte Verschlüsse herzustellen, da natürlich die geringsten Spuren von

Diastase, denen ein anderer Weg als durch die Zellwände offen steht, das Versuchsergebniss werthlos machen. Sind nun auch ziemlich zuverlässige Verschlüsse vermittelst Lack oder anderer Substanzen herzustellen, so erfordert dies Verfahren doch soviel Geduld und Zeit, dass es in Fällen, in denen eine öftere Wiederholung der Versuche erwünscht ist, kaum anwendbar ist. Ich habe daher einen anderen Weg eingeschlagen, der es gestattet, ohne Anwendung von Lack möglichst schnell einen dichten Verschluss herzustellen und in verhältnissmässig kurzer Zeit mehrere Versuche auszuführen.

Aus frischem Edeltannenholz wurden auf der Drechselbank eine grössere Anzahl von soliden Holzcylindern hergestellt, von der Gestalt des in Fig. 92 auf Taf. XV in natürlicher Grösse dargestellten Exemplares. Ein solcher Cylinder wurde so in die Mündung eines Metallrohres eingesetzt, dass das dünnere Ende frei hervorragte. Die Art und Weise der Verschlusseinrichtung ist aus dem Längsdurchschnitt in Fig. 91 zu ersehen. Das Metallrohr b b besitzt an seiner Oberfläche ein Schraubengewinde und bei a a einen absatzartigen, mit Gummi- oder Lederring versehenen Vorsprung nach innen, auf den der Holzcylinder mit seinem dickeren Ende aufgesetzt wird. Sodann schiebt man über das dünnere Ende einen ziemlich dicken, im Querschnitt kreisrunden Gummiring d d, auf den der Konus e e zu liegen kommt. Die Schraubenmutter c c, die nunmehr auf das Metallrohr b b aufgeschraubt wird, ist in der Mitte mit einer Oeffnung für das dünnere Ende des Holzcylinders versehen.

Wie aus der beigegebenen Figur ohne weitere Beschreibung direct zu ersehen ist, wird durch das Anziehen der Schraubenmutter der Holzcylinder mit dem peripherischen Theil seiner unteren Schnittfläche gegen den inneren Vorsprung a a gepresst, wodurch allein schon ein sicherer Verschluss zwischen Holz- und Metallrohr zu Stande kommt. Indem aber gleichzeitig die Schraubenmutter c c den Konus e e auf den Gummiring d d drückt, wird dieser unter Aenderung seiner Form in den Winkel zwischen dem dickeren und dünneren Ende des Cylinders gepresst, woraus ein zweiter Verschluss zwischen Holz und Metallrohr resultirt.

Der Konus e e darf nur abwärts gedrückt, nicht aber während der Bewegung der Schraubenmutter im Kreise herumgeführt werden, weil dadurch der Gummiring d d zerrieben werden würde. Um eine

freie Bewegung der Schraubenmutter auf dem Konus zu ermöglichen, empfiehlt es sich, die Berührungsflächen beider Theile gut einzuölen.

Da der Holzcylinder aus der beschriebenen Verschlusseinrichtung sehr leicht herausgenommen werden kann, um eine neue untere Schnittfläche herzustellen oder um ihn durch einen neuen Cylinder zu ersetzen, so lassen sich in verhältnissmässig kurzer Zeit mehrere Versuche ausführen.

Die zu meinen Versuchen benutzten wässerigen Diastaseauszüge wurden unter einem Quecksilberdruck von 1 Atm. durch das Edeltannenholz hindurchgepresst. Es fand unter diesen Umständen an der oberen Schnittfläche des Holzcylinders ein Austritt von Flüssigkeit statt, der jedoch auch bei Fortdauer des Druckes nach fünf bis zehn Minuten aufhörte, offenbar in Folge von Verunreinigung und Verstopfung der unteren Schnittfläche.

Wie aus der Wirkung auf Stärkekleister constatirt werden konnte, enthielt die durchfiltrirte Flüssigkeit in den meisten Versuchen Spuren von Diastase. Dies beweist, dass die Zellwände nicht absolut undurchlässig sind für Diastase, vorausgesetzt, dass diese wirklich durch die Zellwände gegangen ist. Es fragt sich eben, ob die herrschende Ansicht zutrifft, dass offene Tracheidenstränge im Edeltannenholz vollständig fehlen. Da ich Zweifel nach dieser Richtung nicht sicher widerlegen kann, so wäre es erwünscht, wenn meine Versuche auch von anderer Seite mit besserem Material wiederholt werden könnten.

Folgerungen. — Die mitgetheilten Versuche über das Diffusionsvermögen der Diastase durch Scheidewände von Pergamentpapier und Thonzellen sind in erster Linie von hervorragender Bedeutung zur Illustration unserer mikroskopischen Untersuchungsergebnisse über die Auflösung der Stärke, die, wie im ersten Theil dieser Arbeit ausführlich gezeigt wurde, in allen Fällen erfolgt, ohne dass die Diastase in die Stärkesubstanz eindringt. Wer sich von der Richtigkeit dieser Thatsache durch die mikroskopischen Befunde noch nicht überzeugen konnte, wird nunmehr die letzten Zweifel fallen lassen müssen. Wenn eine Substanz ohne Anwendung von Druck Thonzellwände nicht zu passiren vermag, so muss dieselbe ganz sicher ausser Stande sein, in die Micellarinterstitien eines Stärkekornes einzu-

dringen; denn den intermicellaren Räumen eines Stärkekornes gegenüber sind die mikroskopisch sichtbaren Poren einer Thonzellwand als riesengrosse Oeffnungen zu bezeichnen. Die mikroskopisch festgestellten Thatsachen über die Art der Stärkeauflösung stehen also mit den Ergebnissen der Diffusionsversuche in vollkommener Harmonie.

Was nun ferner die Frage nach der physikalischen Beschaffenheit der Diastase betrifft, so zwingen uns die mitgetheilten Diffusionsergebnisse meiner Meinung nach zu der Vorstellung, dass die fermentativ wirksamen Theilchen der Diastase nicht die einzelnen Molecüle sein können. Es kann sich vielmehr nur um Einheiten höherer Ordnung, um Theilchen handeln, die sich erst aus den Molecülen aufbauen und die letzteren um ein Vielfaches an Grösse übertreffen. Diese aus einer Anzahl von Molecülen zusammengesetzten Theilchen mögen auch hier als „Micelle" bezeichnet werden, obgleich dieselben nicht in allen Punkten mit den Nägeli'schen Micellen identisch zu sein brauchen. Die Diastase bildet also in Wasser keine moleculare, sondern nur eine micellare Lösung.

Es ist einleuchtend, dass die Ursachen des Nichteindringens der Diastase in die Stärkesubstanz wohl nur in der Grösse der Diastasetheilchen liegen können; diese sind eben zu gross, um in die Micellarinterstitien eines Stärkekornes eindringen zu können, während die letzteren bekanntlich weit genug sind, um alle Substanzen, die moleculare Lösungen bilden, aufzunehmen. Es müsste darum auch die Diastase leicht eindringen können, wenn sie in Wasser eine moleculare Lösung bilden würde.

Möglicher Weise wird man hier einwenden, dass nach den Anschauungen verschiedener Chemiker die Diastase in die Gruppe von Eiweisssubstanzen gehöre oder diesen doch sehr nahe stehe. Das aus einer verhältnissmässig sehr grossen Zahl von Atomen zusammengesetzte Eiweissmolecül überrage aber die Molecüle beliebiger anderer Substanzen so sehr an Grösse, dass es nicht mehr in Räume einzudringen vermöge, die für andere Molecüle leicht passirbar seien. Die Thatsache, dass das Diastaseferment nicht in die Stärkesubstanz eindringe, zwinge darum noch nicht zur Annahme von Diastasemicellen.

Nun wissen wir leider über die absolute Grösse der Molecüle sowie über die Weite der intermicellaren Räume eines Stärkekornes

nichts Zuverlässiges. Wie gross aber auch immer ein Eiweiss- resp. Diastasemolecül sein mag, im Vergleich zum Durchmesser der Poren einer Thonzellwand ist es doch so klein, dass es durch diese auch bei Ausschluss von Druck leicht hindurchgehen müsste. Gerade die Diffusionsversuche mit Thonzellen sind es, die die Annahme einer micellaren Diastaselösung nothwendig machen. Ueberdies verweise ich auf die scharfsinnigen Auseinandersetzungen Nägeli's, wonach die Eiweisssubstanzen in Wasser nur micellare Lösungen bilden sollen [1]).

Um noch einen Moment bei den Versuchen über den Durchgang der Diastase durch Thonzellwände stehen zu bleiben, so reicht die einfache Annahme von Micellen nicht einmal aus, um hier alle Erscheinungen zu erklären. Wie wir sahen, findet unter Anwendung von Druck ein Austritt von Diastase statt. Da nun durch Druck nicht die von starren Wänden umgebenen Poren einer Thonzellwand erweitert werden können, so beweist diese Thatsache, dass die Ursachen, warum bei Ausschluss von Druck ein Diastasedurchgang unterbleibt, nicht ausschliesslich in der Grösse der Diastasetheilchen zu suchen sind.

Wie ich glaube, kann das fragliche Verhalten der Diastase kaum anders erklärt werden als mit der von Nägeli [2]) entwickelten Anschauung, nach welcher sich die Micellen einer Micellarlösung leicht zu Verbänden an einander legen. Durch diese lose zusammenhängenden Micellen werden die Poren verstopft, da die Bedingungen zur Bildung solcher Micellverbände beim Eintritt der Micellen in die Porencanäle besonders günstige sind. „Die Ursachen, warum in anderen Fällen der Durchgang (nämlich von Eiweiss durch Zellwände) unmöglich ist, muss also darin liegen, dass die Micellen sich zu Verbänden an einander legen, und dies wird natürlich da besonders leicht geschehen, wo sie beim Eintritt in die Canäle von mikroskopischer oder selbst von mikroskopisch unsichtbarer Feinheit sich anhäufen und zugleich langsamere und gleichmässigere Bewegungen annehmen“ [3]).

Sobald nun die Diffusion der Diastase unter Druck vor sich geht, wird einerseits die Bildung solcher Micellverbände beim Ein-

1) C. v. Nägeli, Theorie der Gährung. München 1879, p. 96 u. 152.
2) l. c. p. 102 u. 126.
3) l. c. p. 105.

tritt der Flüssigkeit in die Porencanäle erschwert, andererseits eine Trennung bereits zusammenhängender Micellen herbeigeführt werden. Es ist darum klar, weshalb unter Anwendung von Druck der Durchgang der Diastase durch Thonzellen gesteigert oder überhaupt erst ermöglicht wird.

Schliesslich möchte ich noch mit einigen Worten auf die Filtrationsversuche mit Diastase durch Edeltannenholz zurückkommen. Ist das von mir erhaltene Ergebniss richtig, d. h. sind die während der Filtration an der oberen Schnittfläche des Holzcylinders austretenden Spuren von Diastase durch die Tracheidenwände gegangen, so zwingt uns diese Thatsache zu einer bestimmten Annahme bezüglich der Zellwandstructur. Nach den Erfahrungen über den Durchgang der Diastase durch Thonzellwände sind die Diastasemicellen offenbar viel zu gross, um selbst unter dem Einfluss eines hohen Druckes in die Micellarinterstitien einer Zellwand eindringen zu können. Ein Durchgang von Diastase durch Zellwände ist nur denkbar, wenn diese ausser den micellaren Zwischenräumen noch besondere gröbere Porencanäle besitzen, mögen diese auch jenseits der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung liegen. Möglicher Weise bestehen diese Poren aus den Canälen, die im Leben der Zellen mit Protoplasmafäden erfüllt sind, durch welche die Plasmakörper benachbarter Zellen zusammenhängen. Die Forderung von gröberen Porencanälen in der Zellwand ist eine Consequenz, zu der sich auch Nägeli in seiner Theorie der Gährung p. 148 gezwungen sieht, um die unter gewissen Bedingungen eintretende Eiweissausscheidung aus den Hefezellen zu erklären.

Da ein Durchgang von Diastase durch Edeltannenholz nur unter Anwendung von Druck erzielt werden kann, so ist der Durchmesser der fraglichen Zellwandcanäle vielleicht kleiner als derjenige der Diastasemicellen. Die Filtration der Diastase erfolgt ausschliesslich durch die Schliesshäute der behöften Poren, die infolge eines einseitigen Druckes elastisch gespannt werden. Da die Canäle einer solchen Haut im Gegensatz zu den Poren einer Thonzelle nicht von starren Wänden umgeben sind, so können sie sich erweitern und Diastasetheilchen passiren lassen, die einen grösseren Durchmesser haben als die Poren in der ungespannten Schliesshaut.

Was nun die Frage nach der chemischen Constitution der Diastase betrifft, so kann ich mich hier auf wenige Bemerkungen beschränken, da dieselbe, streng genommen, nicht in den Rahmen dieser Arbeit gehört. Es ist der Chemie bekanntlich trotz aller Bemühungen bis jetzt nicht gelungen, bezüglich der chemischen Natur der Diastase zu einem sicheren Ergebniss zu gelangen. Die obigen Versuche über die Diffusion durch Pergamentpapier und Thonzellen lassen wohl keinen Zweifel darüber, dass das Diastaseferment in die Reihe der colloidalen Substanzen gehört. Mit Rücksicht hierauf möchte ich vor Allem auf eine interessante Untersuchung Hirschfeld's[1]) hinweisen, in welcher an der Hand verschiedener chemischer Reactionen der Beweis zu führen versucht wird, dass die Diastase alle Eigenschaften eines Gummi besitze und daher aller Wahrscheinlichkeit nach selber ein gummiartiger Körper sei. Wenn sich auch gegen diese Ansicht nicht unerhebliche Einwände geltend machen lassen, so folgt doch aus der Arbeit Hirschfeld's, Lintner's[2]) und anderer Autoren soviel wohl mit Sicherheit, dass die Diastase nicht zu den Eiweisssubstanzen gerechnet werden kann, wie dies verschiedene Forscher wollen. Alles Uebrige ist noch in Dunkel gehüllt. Genau genommen lässt sich noch nicht einmal entscheiden, ob die Diastase von einem bestimmten chemischen Individuum gebildet wird, oder ob mehrere chemisch differente Substanzen an ihrer Zusammensetzung betheiligt sind. Die Annahme eines bestimmten chemischen Individuums würde sehr an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn die Diastase in Wasser eine moleculare Lösung bildete. Da aber die wirksamen Theilchen der Diastase Einheiten höherer Ordnung, nämlich Molecülgruppen sind, so ist es nicht undenkbar, dass diese Micellen in ganz bestimmter Weise aus den Molecülen resp. Individuen verschiedener chemischer Substanzen zusammengesetzt sind.

---

1) E. Hirschfeld, l. c. Pflüger's Archiv f. Phys., Bd. 39.

2) C. C. Lintner, Studien über Diastase. Journ. f. pract. Chemie, 1887, Bd. 144, N. F. Bd. 40.

3. Ueber die Wanderung der Diastase.

Nach der vorliegenden Litteratur zu urtheilen, scheint man die Wanderungsfähigkeit des Diastaseferments von Zelle zu Zelle für eine sicher gestellte Thatsache zu halten. Auf den ersten Blick erhält diese Ansicht eine nicht unerhebliche Stütze in dem Umstande, dass von den Bacterien und anderen Pilzen Diastase oder wenigstens ein diastaseähnlicher Körper nach aussen abgeschieden wird, was ja nur möglich ist, wenn der letztere die Zellwand und den noch viel dichteren Plasmaschlauch zu passiren vermag. Man könnte nun einfach behaupten, dass ein Körper, der von einzelligen Organismen nach aussen abgeschieden wird, auch im Stande sein müsse in Geweben der höher organisirten Pflanzen von Zelle zu Zelle zu wandern. Ich halte es jedoch für verfehlt, aus dem Verhalten der Bacterien irgend welche Schlüsse auf die Stoffwanderung innerhalb der Gewebepflanzen zu ziehen, selbst wenn es feststände, dass der stärkelösende Körper der niederen Pilze mit der Diastase der Gefässpflanzen identisch ist. So folgt ja auch aus der Thatsache, dass von den Hefezellen unter gewissen Bedingungen Eiweiss nach aussen abgeschieden wird, nichts für die Art und Weise der Eiweisswanderung in den höheren Pflanzen; es ist sogar wohl ziemlich sicher, dass das Eiweiss hier nicht in der Form wandert, in der es aus den Hefezellen austritt.

Würde das Diastaseferment in der Form, in der es lösend auf Stärke zu wirken vermag, leicht von Zelle zu Zelle wandern, so müsste man dasselbe eigentlich auch gewinnen können, indem man diastasehaltige Gewebetheile, z. B. die Cotyledonen keimender Bohnen, in Stücke schneidet und diese in Wasser legt. Es findet aber bekanntlich unter diesen Umständen kein Austritt von Diastase statt; um solche zu gewinnen, muss man die einzelnen Zellen zertrümmern und das ganze Protoplasma in das Wasser austreten lassen. Dass aber aus dieser Thatsache noch nicht ohne Weiteres die Wanderungsunfähigkeit der Diastase gefolgert werden kann, bedarf nach ähnlichen Erfahrungen mit anderen Stoffen, z. B. dem Zucker, keiner besonderen Hervorhebung. — Andererseits kann ich aber auch die Versuche, aus denen sich eine Wanderung der

Diastase ergeben soll, nicht als beweiskräftig gelten lassen. So hat Sachs z. B. gefunden, dass im Endosperm unserer Getreidesamen auch unter normalen Keimungsbedingungen keine Stärkeumwandlung stattfindet, wenn zuvor der Keimling mit dem Scutellum entfernt worden war, ein Resultat, das ich auf Grund eigener Versuche nur bestätigen kann. Sachs glaubt damit bewiesen zu haben, dass die Diastase im Embryo entsteht und von hier aus in das Endosperm übertritt. Es folgt aber aus den mitgetheilten Versuchsergebnissen nicht mehr, als dass die Stärkeumwandlung im Endosperm nur bei Anwesenheit des Keimlings erfolgt. Dabei ist nicht ausgeschlossen, dass die Diastase im Endosperm selber, also am Orte ihrer Wirksamkeit, gebildet wird, wenn auch erst infolge irgend einer Beeinflussung (einer Reizung) des Endosperms von Seiten des Embryo.

Nun aber sind ausser den Angaben von Sachs[1]) ziemlich eingehende Versuche von van Tieghem[2]) und Bloziszewski[3]) vorhanden, aus denen die Wanderung der Diastase mit aller Bestimmtheit zu folgen scheint. Nachdem van Tieghem bei endospermhaltigen Samen, z. B. von Mirabilis Jalapa, die Embryonen mit ihrem Scutellum vorsichtig vom Endosperm getrennt hatte, liess er einige von den isolirten Keimlingen in feuchtem Moos wachsen, während andere unter denselben Wachsthumsbedingungen mit einem künstlich bereiteten Stärkebrei in Berührung gebracht wurden. Wie nun ganz deutlich zu beobachten war, zeigten die mit dem Stärkebrei in Verbindung gebrachten Keimlinge eine kräftigere Entwickelung als die Keimlinge ohne künstliche Nahrungsquelle, eine Thatsache, die van Tieghem mit Recht als Beweis dafür ansieht, dass von seinen Keimlingen Nahrung aus dem Stärbebrei aufgenommen wurde. Dies geht ferner auch aus dem Umstand hervor, dass die dem Skutellum eines Keimlings zunächst gelegenen Stärkekörner deutliche Spuren einer beginnenden Auflösung zeigten.

Etwas Anderes ist es aber, wenn van Tieghem und später

---

1) J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, II. Aufl., p. 341.

2) Van Tieghem, Recherches physiologiques sur la germination. Ann. d. sciences naturelles, sér. V, t. 17, 1873, p. 205 ff.

3) Thaddäus Bloziszewski, Physiologische Untersuchungen über die Keimung und weitere Entwickelung einiger Samentheile bedecktsamiger Pflanzen. Thiel's landw. Jahrb., 1876, Bd. 5, p. 145.

Bloziszewski behaupten, die eintretende Stärkeumwandlung und die Nahrungsaufnahme von Seiten der Keimlinge werde nur dadurch möglich gemacht, dass von diesen ein stärkelösendes Ferment, also Diastase, ausgeschieden werde. Zu diesen Folgerungen zwingen die mitgetheilten Thatsachen nicht. Van Tieghem hat bei seinen Versuchen die Bedeutung der Bacterien übersehen, weil man damals die Thatsache noch nicht kannte, dass auch von den Bacterien ein stärkelösendes Ferment abgesondert wird. Nun aber haben sich nach den eigenen Angaben van Tieghem's in dem Stärkebrei, besonders an der Berührungsstelle zwischen letzterem und dem Scutellum, reichlich Bacterien entwickelt. Von diesen wurde Stärke in Zucker verwandelt; und dieser Zucker ist es gewesen, der den Keimlingen als Nahrung diente. Diese konnten sich darum mit Hülfe der Bacterien auch ohne Abscheidung eines Ferments kräftiger entwickeln als diejenigen Keimlinge, die ohne Stärkebrei zu wachsen gezwungen waren. Dass diese Erklärung der von van Tieghem gemachten Beobachtungen die richtige ist, ist bereits von Bloziszewski, wenn auch unbewusst, bewiesen worden. Als Bloziszewski nämlich verschiedenen Keimlingen anstatt Stärkebrei eine Zuckerlösung als Nahrung gab, machte er die Beobachtung, dass diese Zuckerlösung auf das Wachsthum der Keimlinge denselben fördernden Einfluss ausübte wie Stärkebrei.

Um für die Entscheidung der Frage, ob die Diastase in ihrer wirksamen Form zu wandern im Stande ist oder nicht, bestimmte Anhaltspunkte zu gewinnen, hielt ich zunächst eine Orientirung über die Vertheilung des Diastaseferments im keimenden Samen etc. für erforderlich. Zu diesem Zwecke suchte ich bei etwa vier bis fünf Tage in Keimung begriffenen Gerstensamen das Endosperm vom Embryo zu trennen, was bei einiger Vorsicht ziemlich leicht gelingt; zwischen Endosperm und Scutellum pflegt eine ganz glatte Trennung zu erfolgen. Die so vom Endosperm befreiten jungen Keimlinge wurden in drei Theile zerlegt, indem ich die jungen Würzelchen und den jungen Spross dicht am Scutellum abschnitt. Von je 50 Samen wurden dann die Scutellen, die Endosperme, Sprosse und Würzelchen getrennt in einer Porzellanschale sorgfältig zerrieben und auf ihren Diastasegehalt geprüft. Obgleich im Endosperm der untersuchten Samen erst die Anfangsstadien der

Stärkeauflösung zu beobachten waren, überstieg doch der Diastasegehalt des Endosperms den des Scutellums, des Sprosses und der Wurzeln um ein Bedeutendes. Denn einige Tropfen des aus den Endospermtheilen hergestellten Diastaseauszuges vermochten in wenigen Minuten eine Quantität von Stärkekleister zu verwandeln, auf welche die Auszüge aus den Scutellen, Wurzeln und Sprossen erst nach mehreren Stunden eine deutliche Wirkung erkennen liessen.

Es fragt sich nun, ob die im Scutellum und den übrigen Theilen des Keimlings vorhandene Diastase von hier aus in das Endosperm auswandert. Es ist nicht zu vergessen, dass auch in den Geweben des Keimlings Diastase vorhanden sein muss, um die transitorische Stärke und vor Allem die Querwände in den sich entwickelnden Ring- und Spiralgefässen aufzulösen; denn auch die Zellwände können nur von der Diastase oder einem ähnlich wirkenden Körper zerstört werden. Aus der Anwesenheit von Diastase im jungen Keimling lässt sich also noch nicht die Folgerung ziehen, dass das stärkelösende Ferment nur hier entstehe und von hier aus in das Endosperm übergeführt werde. Dazu kommt weiter die soeben erwähnte wichtige Thatsache, dass bereits in den Anfangsstadien der Keimung, wenigstens in den dem Embryo zunächst gelegenen Endospermzellen, der Gehalt an Diastase ein grösserer ist als in einer Zelle des Scutellums. Wie sich ferner leicht zeigen lässt, erfährt dieser bereits in den ersten Tagen der Keimung vorhandene Diastasegehalt des Endosperms im weiteren Verlauf des Keimungsprocesses eine nicht unerhebliche Steigerung. Soll nun die im Endosperm vorhandene Diastase aus dem Scutellum kommen, so ist das nur möglich, wenn dieselbe von einem Orte geringer Concentration nach einem solchen höherer Concentration wandert. Dies spricht aber gegen unsere sonstige Erfahrung über Stoffwanderung, die stets in umgekehrter Richtung erfolgt. Hierbei kann es bekanntlich zu einer Anhäufung eines Körpers an einem bestimmten Orte nur kommen, wenn derselbe eine chemische Umwandlung erfährt, was bei der Diastase nicht der Fall ist.

Wie hier nebenbei bemerkt sein mag, ist der Diastasegehalt der jungen Wurzeln grösser als derjenige des Scutellums und des jungen Sprosses.

Zur Entscheidung der Frage nach der Wanderungsfähigkeit der

Diastase sind folgende Versuche von noch grösserer Bedeutung als die eben erörterten. — Trockene, ungekeimte Samenkörner vom Weizen, Roggen und der Gerste wurden vermittelst eines scharfen Messers vom Embryo befreit und dann in frisch bereitete wässerige Diastaselösung gelegt. Das Endosperm zeigt unter diesen Umständen eine erhebliche Volumenzunahme, indem sich die einzelnen Zellen mit Wasser vollsaugen. Würden nun bei diesem Wassereinstrom Diastasetheilchen mit in die Zellen eindringen, so müsste sich dies an den nothwendig eintretenden Corrosionen der Stärkekörner sehr bald constatiren lassen. Da aber solche Corrosionen, so lange die Zellen von einer geschlossenen Zellhaut umgeben sind, niemals eintreten, so ist das ein Beweis, dass trotz der starken osmotischen Saugung der Endospermzellen keine Diastase mit dem Wasser eindringt. Dagegen zeigen die Stärkekörner der durch das Messer angeschnittenen Zellen sowie die frei in der Diastaselösung liegenden Körner schon nach einigen Stunden ganz deutliche Corrosionen.

Um eine zu starke Bacterienentwickelung und damit einhergehende Fäulniss zu verhüten, muss man die Diastaseauszüge von Zeit zu Zeit durch frisch bereitete Lösungen ersetzen. Geschieht dies etwa alle zwei Tage, dann behalten die vom Embryo befreiten Endosperme monatelang ihr frisches und gesundes Aussehen, zeigen aber in den geschlossenen Zellen auch bei diesem langen Aufenthalt in Diastase nicht die geringsten Spuren von Stärkeauflösung.

Wie sich nach dem Vorausgehenden eigentlich von selbst versteht, erhält man dasselbe Resultat, wenn man die vom Keimling befreiten Endosperme in Bacterienflüssigkeit bringt. Die Endosperme werden zwar von der Schnittfläche aus durch die Bacterien successive zerstört, allein niemals zeigen sich hierbei in geschlossenen Zellen irgend welche Andeutungen von Stärkeauflösung, ein Beweis, dass auch die von den Bacterien ausgeschiedene Diastase oder diastaseähnliche Substanz nicht in die Endospermzellen einzudringen vermag. Das von den Bacterien ausgeschiedene Ferment beginnt erst dann auf die Stärkekörner einzuwirken, wenn die Zellmembran aufgelöst und damit der Protoplasmakörper freigelegt ist.

Sehr instructive Beispiele liefern nach dieser Richtung die Cotyledonen von Phaseolus multiflorus. Bringt man diese in Bacterienflüssigkeit, so werden zunächst die einzelnen Zellen durch

Zerstörung der Mittellamelle von einander getrennt. Es bildet sich so eine aus isolirten Zellen bestehende pulverige Masse, in der die einzelnen Zellen wie kleine, mit Stärke gefüllte Säckchen erscheinen. Die allmähliche Auflösung der Wände dieser isolirten Zellen lässt sich nun Schritt für Schritt verfolgen; die Zellmembran wird successive dünner, bis sie schliesslich an verschiedenen Stellen gänzlich zerstört wird. Erst nach dem Auftreten solcher Oeffnungen sind die ersten Corrosionen an den Stärkekörnern wahrzunehmen, und zwar zeigen sich stets diejenigen Körner zuerst angegriffen, die den Oeffnungen in der Zellwand zunächst liegen.

Erinnern wir uns nun nach diesen Versuchsergebnissen an die oben festgestellte Thatsache, dass die Diastase ohne Anwendung von Druck nicht durch die verhältnissmässig grobporigen Thonzellwände zu diffundiren vermag, so glaube ich bezüglich der Diastasewanderung zur Aufstellung folgender Sätze berechtigt zu sein:

1. Die Diastase ist ausser Stande, in der Form zu wandern, in der sie Stärke in Zucker verwandelt. Um eine Wanderung der Diastase zu ermöglichen, muss sie zuvor irgend eine chemische Veränderung erfahren, um sodann am Orte ihrer Wirksamkeit restituirt zu werden.

2. Es lässt sich aber wohl mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit behaupten, dass die Diastase überhaupt nicht wandert, sondern direct am Orte ihrer Wirksamkeit entsteht. Diese Diastasebildung erfolgt im Endosperm der Getreidesamen erst infolge irgend eines Reizes von Seiten des Keimlings.

---

4. Die Schichtung der Stärkekörner in Beziehung zur Diastasewirkung.

Wie ich als bekannt voraussetze, ist von Arth. Meyer[1]) der Versuch gemacht worden, die Structur, vor Allem die Entstehung einer sichtbaren Schichtung im Stärkekorn mit einer Fermentwirkung in Zusammenhang zu bringen, eine Ansicht, die nach unseren Untersuchungsergebnissen über den Gang der Stärkeauflösung keiner ein-

1) Arth. Meyer, Ueber die Structur der Stärkekörner. Bot. Ztg. 1881, p. 841.

gehenden Widerlegung bedarf. Denn die von Arth. Meyer angenommene Entstehungsweise der Schichtung ist ja nur möglich, wenn das Diastaseferment der alten Anschauung gemäss auf die Stärkekörner eine auslaugende Wirkung ausübt. Wenn aber durch meine Untersuchungen etwas sicher bewiesen ist, so ist es in erster Linie die Thatsache, dass die Diastase nicht in die Stärkesubstanz eindringt.

Die Beobachtungen Arth. Meyer's über die Stärkeauflösung im Iris-Rhizom sind in unrichtiger Weise gedeutet worden. Zunächst scheint es Meyer entgangen zu sein, dass auch die Iris-Stärke in der Regel durch Bildung deutlicher Porencanäle angegriffen wird. Obgleich die Iris-Rhizome für das Studium der Fermentwirkung keine sehr günstigen Objecte abgeben, sind doch die fraglichen Porencanäle besonders an kleinen und mittelgrossen Körnern sehr deutlich zu verfolgen. Die Wirkung des Ferments ist darum auch hier wie in anderen Pflanzengattungen eine rein äusserliche, ohne jede Beziehung zu einem Auslaugungsprocess. Da die Porencanäle im Innern der grossen, excentrisch gebauten Körner oft sehr dicht stehen und ausserdem nicht selten im dickeren Ende die Schichten rechtwinklig durchlaufen, so tritt hier die Schichtung besonders deutlich hervor. Dies ist wahrscheinlich die Arth. Meyer'sche „Kegelschichtung", deren Entstehung also mit einem Auslaugungsprocess nichts zu thun hat.

Aber selbst angenommen, die auslaugende Wirkung der Fermente wäre sicher constatirt, so würde damit die Frage nach der Entstehungsweise der eigenthümlichen Structur und nach der Wachsthumsweise der Stärkekörner doch wenig gefördert sein; jedenfalls würde daraus noch nicht folgen, dass die Stärkekörner durch Apposition wachsen, wie dies Arth. Meyer meint. Dieser geht bekanntlich von der Voraussetzung aus, dass die mit der Grössenzunahme eines Kornes eintretende Structurveränderung, besonders die Schichtenbildung, das Resultat einer einfachen Fermentwirkung auf „Stärkesphärokrystalloide" sei, die durch Apposition wachsen, während nach Nägeli die Schichtenbildung ohne Annahme innerer, mit Substanzeinlagerung verbundener Differenzirungsprocesse nicht zu erklären ist. Wie nun Arth. Meyer recht wohl einsieht, kann durch einen Auslaugungsprocess in einem homogenen Körper keine

Schichtung hervorgerufen, gewissermaassen erst geschaffen, sondern nur deutlicher gemacht werden; die Schichtung muss mit anderen Worten im Stärkekorn bereits vor der Fermentwirkung in einer entsprechenden Structurverschiedenheit der Stärkesubstanz vorhanden sein. Um die Schwierigkeiten, die sich hier ergeben, aus dem Wege zu räumen, macht Arth. Meyer ohne Weiteres die Annahme einer Periodicität in der Apposition, ohne indessen plausibel zu machen, dass eine solche Periodicität in Wirklichkeit existirt, und dass dieselbe, wenn sie vorhanden sein sollte, zur Bildung verschieden structurirter Schichten führen muss.

In der Arth. Meyer'schen Vorstellungsweise liegt ausserdem die stillschweigend gemachte Voraussetzung, dass die grössten Stärkekörner in einer Zelle auch die ältesten sind. Denn wo eine Schichtung, wie z. B. an der Kartoffel- und Cannastärke, deutlich zu beobachten ist, da pflegt dieselbe bekanntlich immer erst bei einer bestimmten Grösse der Körner aufzutreten, während dieselbe in den kleineren Körnern nur schwach entwickelt ist oder gänzlich fehlt. Diese eigenthümliche Erscheinung rührt nach Arth. Meyer daher, dass die grösseren Körner längere Zeit der auslaugenden Wirkung der Fermente ausgesetzt gewesen und darum natürlich älter sind als die kleinen, ungeschichteten Körner.

Ist es nun auch schwer, über das relative Alter der Stärkekörner zuverlässige Anhaltspunkte zu gewinnen, so kann doch mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, dass die grösseren Stärkekörner einer Zelle nicht immer die älteren sind. In einer stärkehaltigen Zelle hören manche Körner bereits in einem jungen Entwickelungsstadium zu wachsen auf und bleiben klein, während später entstehende und darum jüngere Stärkekörner viel grösser werden. Da also unter den kleinen Körnern einer Zelle manche einer auslaugenden Wirkung des Ferments längere Zeit ausgesetzt gewesen sind als die grösseren Körner, so müssten sich auch Fälle finden, in denen bereits an jenen eine deutliche Schichtung wahrzunehmen ist. Weil sich so etwas aber niemals beobachten lässt, so kann auch die sichtbare Schichtenbildung der Stärkekörner nicht von einem Auslaugungsprocess abhängig gemacht werden.

Zu alledem kommt noch eine andere, die Ansicht Arth. Meyer's direct widerlegende Thatsache. An den deutlich g[illegible]ten grösseren

Stärkekörnern der Kartoffel, von Canna, Lathraea, Phajus etc. gelangen gewöhnlich im Innern, sogar in unmittelbarer Nähe des Kernes überaus dichte Schichten zur Ausbildung, die ohne Zweifel ebenso substanzreich sind als kleine noch ungeschichtete Körner in ihrer ganzen Masse. Selbstverständlich kann die Entstehung solcher Schichten nicht von einem auslaugend wirkenden Ferment verursacht werden, denn unter solchen Umständen müssten sämmtliche Schichten in der Nähe des Kernes grosser Körner substanzärmer sein als die kleinen ungeschichteten Stärkekörner.

Ist demnach die Arth. Meyer'sche Ansicht über das Wachsthum und die Schichtenbildung der Stärkekörner, von welcher Seite man sie auch betrachten mag, unhaltbar, so soll damit doch nicht behauptet werden, dass nun die Intussusceptionstheorie Nägeli's richtig sei. In welcher Weise die Stärkekörner wachsen, ob durch Apposition oder Intussusception, kann selbstverständlich an diesem Orte nicht erörtert, geschweige denn entschieden werden. Jede Theorie hat natürlich so lange unbedingten Anspruch auf Anerkennung, als sie eine Reihe zusammenhängender Erscheinungen ohne willkürliche Annahmen in ungezwungener Weise erklärt. Und dass dies bei der Nägeli'schen Wachsthumstheorie der Stärkekörner bis jetzt noch zutrifft, wird auch der eifrigste Anhänger der Apposition ernstlich nicht in Frage stellen können.

Mit vorstehenden Erörterungen sollte im Wesentlichen nur gezeigt werden, dass die Schichtenbildung der Stärkekörner in keinerlei Zusammenhang mit der Wirkung der Diastase steht. Ob und in welcher Weise die Structur der Stärkekörner in der lebenden Zelle von anderen Substanzen verändert wird, muss ich dahingestellt sein lassen; wir wissen darüber zur Zeit nichts Bestimmtes. Was z. B. die Pflanzensäuren betrifft, so dringen dieselben ohne Zweifel in die Substanz eines Stärkekornes ein; es ist darum auch nicht unmöglich, dass dieselben bei genügender Concentration und längerer Einwirkung irgend welche Veränderungen an den Stärkekörnern hervorrufen.

---

5. Theoretische Erörterungen über die Wirkung der Diastase auf intacte Stärkekörner.

Wenn ich nunmehr in eine kurze Erörterung der Frage eintrete, wie man sich auf Grund der im ersten Theile dieser Arbeit ausführlich besprochenen Auflösung der Stärkekörner die Wirkungsweise des Diastaseferments vorzustellen hat, so kann das selbstverständlich nach Lage der Dinge nicht in der Absicht geschehen, eine völlig befriedigende Antwort auf diese Frage zu geben. Ich muss mich vielmehr darauf beschränken, die Richtung anzugeben, in der nach meiner Meinung die Lösung unseres Problems erst durch weitere Untersuchungen gefunden werden kann.

Es ist vor Allem die Frage zu beantworten, auf welche speciellen Ursachen die verschiedenartigen localen Corrosionen, die Bildung grubenförmiger Vertiefungen in der Stärkekornoberfläche, die Entstehung der die Körner durchsetzenden Porencanäle etc. zurückzuführen sind. Wie bereits ausführlich gezeigt wurde, können alle diese Erscheinungen nicht etwa mit einem directen Angriff von Mikroorganismen oder lebenden Protoplasmagebilden in Verbindung gebracht werden; ebensowenig gelingt es, wie im 9. Capitel dargelegt wurde, die fraglichen Corrosionen aus Structuranomalien der Stärkekörner zu erklären. Die nach anderer Richtung wichtige Thatsache, dass das Diastaseferment nicht in die Stärkesubstanz einzudringen vermag, ist ebenfalls ausser Stande, uns über das eigentliche Wesen der Diastasewirkung irgend welchen Aufschluss zu geben; sie zeigt nur, dass die bisher beliebte Vergleichung der Diastasewirkung mit der Wirkung von Säuren unzutreffend ist.

Was die vorhandenen Fermenttheorieen betrifft, so ist wohl ohne specielle Auseinandersetzung klar, dass dieselben für die Beantwortung unserer Frage gleichfalls keinerlei Material zu liefern vermögen. So verschieden die bisherigen Theorieen auch sein mögen, so zeigen sie doch insofern völlige Uebereinstimmung, als sie sich fast nur mit der rein chemischen Seite der Diastasewirkung befassen, indem sie die Ursachen klarzulegen suchen, von denen die Umwandlung der Stärke in Zucker bedingt wird. Die Theorie Nägeli's bewegt sich zwar ausschliesslich auf physikalischem Boden, was sie aber zu

erklären sucht, ist wiederum die alte Frage nach den Ursachen der Stärkeumwandlung, und wie man es sich vorzustellen habe, dass von einer geringen Quantität von Diastase eine so verhältnissmässig grosse Wirkung ausgeübt werden kann. Da es nun gerade die chemische Seite der Diastasewirkung ist, die für den vorliegenden Gegenstand so gut wie ohne Bedeutung ist, so habe ich auch keine Veranlassung, in eine Kritik der vorhandenen Theorieen einzutreten. Denn es liegt auf der Hand, dass die Erklärung der localen Corrosionen um keinen Schritt gefördert sein würde, auch wenn wir über die Bedingungen der Stärkeumwandlung genau unterrichtet wären und die chemische Constitution der Diastase ebenso genau kennten wie die irgend eines Salzes. — Indem wir also von der chemischen Veränderung der Stärke vollständig abstrahiren können und nur die eigenthümliche Lösung derselben in's Auge zu fassen haben, gestaltet sich unser Problem zu einem rein physikalischen; denn es ist ja in erster Linie die Physik, die sich mit derartigen Lösungsprocessen befasst; für den Chemiker gewinnt die Sache erst in dem Momente ein Interesse, in dem die Stärkesubstanz eine chemische Veränderung erleidet.

Es ist nun von hervorragendem Interesse, dass auch die Physik bei der Lösung echter Krystalle ähnliche Erscheinungen aufzuweisen hat, wie sie nach unseren Untersuchungen vom Diastaseferment an den grossen Stärkekörnern der Kartoffel und verschiedener anderer Pflanzen hervorgerufen werden. Wie hier die Lösung der Stärkekörner, so erfolgt auch die Lösung verschiedener Krystalle (z. B. Alaun, Kochsalz etc.) nicht immer durch ein gleichmässiges Abschmelzen von aussen, sondern es entstehen gleichzeitig auf den Krystallflächen verschieden gestaltete locale Vertiefungen, die als Aetzfiguren bezeichnet werden. Da es natürlich zu weit führen würde, hier auf eine Besprechung der physikalischen Litteratur über den fraglichen Gegenstand einzugehen, so begnüge ich mich damit, auf die zusammenfassende Darstellung im ersten Bande der Molecularphysik von O. Lehmann[1]) hinzuweisen, wo sich auch die nöthigen Litteraturangaben vorfinden. Die Aetzfiguren des Alauns sind wohl am eingehendsten untersucht und für uns am interessantesten; sie

1) O. Lehmann, Molecularphysik, Leipzig, 1888, Bd. I, p. 488 ff.

entstehen nicht nur bei Anwendung von Säuren, sondern auch beim Eintauchen der Krystalle in reines Wasser, und zwar, was von besonderer Wichtigkeit ist, in verschiedener Grösse und verschiedener Zahl auf den einzelnen Krystallflächen. Speciell über den ersten Punkt bemerkt Fr. Klocke[1]): „Ich fand sie ohne Einfluss der Grösse bald so klein, dass sie erst bei 300facher Vergrösserung überhaupt wahrnehmbar wurden, bald so gross, dass sie mit der Lupe, zuweilen schon mit blossem Auge zu sehen waren. Auch die Abmessungen der gleichzeitig entstandenen Aetzfiguren derselben Fläche weichen oft von einander ab; grosse und kleine liegen neben einander, zuweilen aber sind ganze Strecken mit Aetzfiguren gleicher Grösse bedeckt."

Von grösserem Interesse als die einfache Beschreibung der Aetzfiguren ist für uns die Frage, wie die Physik die Entstehung derselben zu erklären versucht hat. Abgesehen von einigen Fällen, in denen die Bildung der Aetzfiguren wahrscheinlich mit besonderen Structurverhältnissen der Krystalle zusammenhängt, ist es der Physik bisher nicht gelungen, eine allgemein befriedigende Erklärung dieser Erscheinung zu geben. „Welche Ursache daran Schuld ist, dass die homogene Krystallfläche nicht überall gleichmässig von dem Lösungsmittel angegriffen wird, ist bis heute noch nicht klar" [2]). Man hat natürlich die naheliegende Vermuthung ausgesprochen, dass das Auftreten der Aetzfiguren in allen Fällen von bestimmten Structuranomalien der Krystalle bedingt werde, allein man sieht nicht ein, woher solche Structuranomalien bei regelmässiger Ausbildung der Krystalle kommen sollen; jedenfalls ist soviel sicher, dass damit nicht die ganze Erscheinung erklärt werden kann. Die Ursachen der Aetzfiguren sind vielleicht ausschliesslich, jedenfalls zum Theil, ausserhalb des Krystalls in einer besonderen Wirkungsweise des Lösungsmittels zu suchen, wie dies auch von O. Lehmann[3]) mit Recht betont wird: „Möglicher Weise sind bei der Entstehung der Aetzfiguren zwei Factoren von wesentlichem Einfluss, nämlich die Contactbewegungen der Flüssigkeit an der Oberfläche des Krystalls

1) Fr. Klocke, Ueber die Aetzfiguren der Alaune. Groth's Zeitschr. f. Krystallographie u. Mineralogie, 1878, Bd. II, p. 127.
2) Fr. Klocke, l. c. p. 128.
3) Molecularphysik, Bd. I, p. 493.

während des Lösungsprocesses und die Structuranomalien des Krystalls."

Ich bin nun der Meinung, dass solche Contactbewegungen, die unter bestimmten Bedingungen bei der Berührung mischbarer Flüssigkeiten zu Stande kommen, auch bei der eigenthümlichen Lösung der Stärkekörner eine hervorragende Rolle spielen. In Folge des angedeuteten Contacts bilden sich bekanntlich bestimmt gerichtete Flüssigkeitsströmchen, locale wirbelnde Bewegungen, deren Entstehung bei der Einwirkung der Diastase auf Stärkekörner ebenso gut möglich ist wie in der Umgebung echter Krystalle. Selbstverständlich befinde ich mich nicht in dem Irrthum, mit diesem Heranziehen localer Flüssigkeitswirbel alle Auflösungserscheinungen der Stärke mit einem Schlage erklärt zu haben, ich wollte hier nur in Kürze auf Factoren hinweisen, die nach meiner Meinung bei der Erklärung der verschiedenartigen localen Corrosionen der Stärkekörner berücksichtigt werden müssen. Von einer weiteren Erörterung dieses Gegenstandes nehme ich absichtlich Abstand, weil damit doch nicht eine definitive Lösung des Problems erreicht werden würde. Ob eine befriedigende Aufklärung der räthselhaften Corrosionen auch bei weiterer eingehender Verfolgung des Gegenstandes bald gelingen wird, erscheint mir mehr als fraglich, da uns die Physik schon bei der Erklärung der Aetzfiguren im Stich lässt, obgleich hier die Verhältnisse ohne Zweifel viel einfacher liegen als bei der Lösung der Stärkekörner.

Figuren-Erklärung.

Tafel XIII.

NB. — In allen Figuren von Taf. XIII sind die infolge der Fermentwirkung entstandenen Löcher, Porencanäle, oberflächlich verlaufende Rinnen etc. durch braune Farbe hervorgehoben worden.

Fig. 1. Ein im Anfangsstadium der Auflösung befindliches Stärkekorn von Triticum vulgare in der Flächenansicht. a, c, f, k etc. im Profil mehr oder weniger keilförmig erscheinende Poren des Randes, die eine scheinbare Schichtung erkennen lassen. b, d, e etc. Beginn der Porenbildung in Form kleiner Randeinkerbungen. m, n, q etc. von oben gesehene Porencanäle der flachen Seite des Kornes. Vergr. 800.

Fig. 2. Zwei auf die Kante gestellte Körner von Triticum vulgare, welche einige vom Rande in das Korn eindringende Porencanäle von oben zeigen. Der spaltenförmige Querschnitt einiger Poren ist erst infolge vorwiegender Vergrösserung der letzteren in der Richtung des Randes entstanden. Vergr. 800.

Fig. 3 und 4. Corrodirte Weizenstärkekörner. Erklärung im Text p. 531 u. 534.

Fig. 5. Corrodirtes Gerstenstärkekorn. Der bei a in das Korn eindringende Canal gabelt sich bei a' in zwei Aeste, bei a'' findet dagegen eine Vereinigung zweier Poren statt und bei a''' wiederum eine Gabelung. Der concentrisch verlaufende Porencanal d ist offenbar genetisch von den Canälen c und b abzuleiten. Die von oben gesehenen Poren der flachen Seite des Kornes zeigen einen ungleich grossen Querschnitt. Die Poren mit dem grössten Querschnitt sind die längsten und ältesten. Vergr. 800.

Fig. 6. Corrodirtes Weizenstärkekorn. Bei a im Unterschied zu den übrigen Poren ein Canal, der in seiner ganzen Länge ziemlich dieselbe Weite besitzt und sich im Innern des Kornes stark verzweigt hat. Vergr. 800.

Fig. 7. Stark corrodirtes Weizenstärkekorn. Erklärung im Text p. 534. Vergr. 500.

Fig. 8. Weizenstärkekorn, dessen Porencanäle a, b und c im Innern des Kornes in gegenseitige Communication getreten sind. Es ist möglich, dass diese Communication durch einen in der Mitte des Kornes vorhandenen Spalt, in den die Poren mündeten, herbeigeführt ist. Bei seiner weiteren Verlängerung würde auch Canal d mit den übrigen in Verbindung getreten sein. Vergr. 500.

Fig. 9. Ein Gerstenstärkekorn im Beginn der Auflösung. Die am Rande entstehenden Poren besitzen eine geringe Länge oder überhaupt erst die Form kleiner Einkerbungen. Vergr. 500.

Fig. 10. Korn von Hordeum vulgare in den Anfangsstadien der Auflösung. Von den Randporen zeigt a den Beginn einer Verzweigung. Die ziemlich zahlreichen Poren der flachen Seite besitzen ungleich grossen Querschnitt und verschiedene Länge, was natürlich bei der Ansicht der Poren von oben in der Figur nicht zu sehen ist. Vergr. 800.

Fig. 11. Ein ausschliesslich mit Randporen versehenes Korn von Hordeum vulgare. Der bereits ältere Porencanal a hat sich im Innern des Kornes in die vier Aeste b, c, d und e gegabelt. Vergr. 800.

Fig. 12. Ein Stärkekorn von Hordeum vulgare in weit vorgerücktem Auflösungsstadium. Vergr. 800.

Fig. 13. Ein im wässerigen Diastaseauszuge corrodirtes Kartoffelstärkekorn. Es haben sich oberflächlich verlaufende Furchen gebildet, die an der Oberfläche des Kornes ein ziemlich dichtes Maschennetz bilden. Vergr. 400.

Fig. 14. Ein mehrere Tage im wässerigen Diastaseauszuge aus Gerstenmalz gelegenes Korn von Fritillaria imperialis. Das excentrisch gebaute Korn zeigt an seinem dickeren Ende oberflächlich verlaufende Furchen, die bei weiterer Einwirkung des Ferments an Länge und Tiefe zugenommen haben würden. Vergr. 400.

Fig. 15. Ein Kartoffelstärkekorn mit einer grossen Zahl bohrlochartiger Vertiefungen an der Oberfläche. Das Korn hat mehrere Wochen in Bacterienflüssigkeit gelegen. Vergr. 250.

Fig. 16. Corrodirtes Stärkekorn von Hordeum vulgare mit vier Porencanälen a, b, c und d, die im Innern des Kornes in gegenseitige Communication getreten sind. Vergr. 500.

Fig. 17 bis 22. Corrodirte Stärkekörner von **Zea Mays** in verschiedenen Stadien der Auflösung. Vergr. 800.

Fig. 21 und 22 zeigen den Beginn der Fermentwirkung. In Fig. 17 sind die Randporen fast bis zur Mitte des Kornes vorgedrungen. Fig. 18, 19 und 20 bereits stark corrodirte Körner mit vielen unverzweigten Porencanälen. Näheres im Text.

Tafel XIV.

NB. — Sämmtliche Figuren zeigen eine 800fache Vergrösserung.

Fig. 23 und 24. Corrodirte Körner aus dem Endosperm von Eragrostis.

Fig. 25 bis 28. Corrodirte Buchweizenstärkekörner. In Fig. 25 führt der vom Rande kommende Porencanal a in den inneren Hohlraum b. Die nach oben gerichtete Fläche des Kornes besitzt drei Poren. Fig. 26 zeigt nur Poren auf der flachen Seite. Die Körner in Fig. 27 und 28 besitzen neben den Poren auf den flachen Seiten auch Randporen.

Fig. 29 und 30. Corrodirte Stärkekörner aus dem Endosperm von **Phleum**. In den inneren Hohlraum des Kornes in Fig. 29 münden von aussen mehrere Porencanäle.

Die Figuren 31 bis 42 enthalten corrodirte Stärkekörner aus den äusseren Zwiebelschuppen von **Hyacinthus orientalis**. Die nähere Erläuterung derselben befindet sich im Text p. 547.

Die Figuren 43 bis 62 zeigen corrodirte Stärkekörner aus den Cotyledonen von **Phaseolus multiflorus**, mit Ausnahme der Figuren 54, 55, 56 und 61, in denen corrodirte Körner von **Vicia sativa** wiedergegeben sind. In Fig. 59 sieht man einen von aussen kommenden Porencanal, der sich im Innern des Kornes stark verzweigt. Aehnliches zeigen die Figuren 56 und 61. Alles Weitere im Text.

Tafel XV.

NB. — 500fache Vergrösserung der Figuren mit Ausnahme von 91 und 92.

Fig. 63 bis 65. Kleine Stärkekörner aus der keimenden Kartoffelknolle. Die Körner zeigen sich vom Ferment durch Bildung von Porencanälen in Verbindung mit einem inneren Hohlraum angegriffen.

Fig. 66. Ein von aussen abschmelzendes Stärkekorn aus den äusseren Zwiebelschuppen von **Lilium candidum**. Anfangsstadium der Auflösung.

Fig. 67. Intactes Korn aus der Zwiebel von **Lilium candidum** in schematisirter Darstellung.

Fig. 68 bis 70. Corrodirte Körner aus der keimenden Kartoffelknolle in weit vorgerücktem Auflösungsstadium.

Fig. 73. Ein stark abgeschmolzenes Kartoffelstärkekorn mit einer besonderen localen Vertiefung am hinteren Ende.

Fig. 71, 72 und 74. Stark abgeschmolzene Körner aus der Zwiebel von **Lilium candidum**.

Fig. 75 bis 78. In Auflösung begriffene Stärkekörner von **Lathraea clandestina**. Sämmtliche Körner zeigen neben einem Abschmelzen von aussen bei a eine besondere locale Corrosion.

Fig. 79. Ein von aussen abschmelzendes Kartoffelstärkekorn, gleichzeitig durch mehrere grubenförmige Vertiefungen in der Oberfläche ausgezeichnet.

Fig. 80 und 81. Stark corrodirte Körner aus dem Blüthenstiel von Lathraea clandestina. Bei dem Korn in Fig. 80 zeigt sich der Auflösungsprocess auf das hintere, im Wachsthum geförderte Ende des Kornes beschränkt, während das vordere Ende mit dem Kern intact geblieben ist.

Fig. 82. Ein schalenförmiges Bruchstück eines Kartoffelstärkekornes, das in einem wässerigen Diastaseauszuge vorwiegend von innen her zerstört wurde.

Fig. 83. Ein bereits stark von aussen abgeschmolzenes Korn aus dem Blüthenstiel von Lathraea clandestina. Bei a hat sich eine besondere locale Corrosion gebildet.

Fig. 84. Ebenfalls ein stark abgeschmolzenes Korn von Lathraea clandestina mit einer weit in das Korninnere vordringenden localen Corrosion bei a.

Fig. 85. Ein im Anfangsstadium der Auflösung befindliches Stärkekorn von Lathraea clandestina. Nur das hintere Ende des Kornes ist von dem Auflösungsprocess ergriffen worden.

Fig. 86. Ein Kartoffelstärkekorn, das mehrere Wochen in Bacterienflüssigkeit gelegen. Neben den zahlreichen kleinen bohrlochartigen Vertiefungen sind einige grössere, grubenförmige Vertiefungen mit kreisrundem Querschnitt entstanden.

Fig. 87. Ein Stärkekorn von Lathraea clandestina mit einer localen Corrosion bei a. Die gleichmässige Auflösung von aussen hat noch nicht begonnen.

Fig. 88. Ein gleichmässig abschmelzendes Stärkekorn von Lathraea, mit einer tiefgehenden localen Corrosion bei a.

Fig. 89. Ein Stärkekorn aus der Knolle von Phajus grandifolius. Am Kernende a haben sich Poren gebildet, während am hinteren Ende b ein localer Auflösungsprocess gewirkt hat. Im Uebrigen zeigt das ganze Korn ein Abschmelzen von aussen.

Fig. 90, 93 und 94. Stark corrodirte Kartoffelstärkekörner nach längerem Aufenthalt in einem wässerigen Diastaseauszuge aus Gerstenmalz. Die zunächst von aussen angefressenen Körner werden in der Folge vorwiegend von innen her zerstört.

Fig. 91 und 92. Siehe Text p. 586.

Ueber die Schleimendosperme der Leguminosen.

Von

Hugo Nadelmann.

Hierzu Tafel XVI—XVIII.

Das Vorkommen von Schleim, dessen Reactionen und Functionen.

Der Schleim ist im Pflanzenreiche sehr stark verbreitet, sowohl als Zellinhalt, als auch als Membran (Membranschleim). Man findet ihn besonders häufig in den Knollen, Blättern und Samen, womit jedoch die Fälle seines Auftretens nicht erschöpft sind, da auch die meisten anderen Theile der Pflanze ihn aufzuspeichern im Stande sind.

Von den Autoren, die sich mit dem Studium der Schleime beschäftigten, sind stets nur einzelne Schleim enthaltende Pflanzen in das Bereich der Betrachtung gezogen worden.. So hatte sich Frank[1]) in einer sehr ausführlichen Abhandlung über den Schleim von Linum, Cydonia, Orchis, Symphytum officinale, Plantago Psyllium u. A. ausgesprochen.

Hofmeister[2]) dienten als Untersuchungsobjecte ebenfalls die Samen von Linum, Plantago Psyllium, Pirus Cydonia, ferner Teesdalia nudicaulis, Camelina sativa, die Samenhaare von Ruellia patula, das Pericarp von Salvia Horminum, die Samen von Collomia heterophylla, C. coccinea u. A.

---

1) Frank, Ueber die anatomische Bedeutung und die Entstehung der vegetabilischen Schleime. Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik. Bd. V. S. 161—163.

2) Hofmeister, Ueber die zu Gallerte aufquellenden Zellen der Aussenfläche von Samen und Pericarpien. Berichte d. königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Mathem.-Physik. Cl. 1858, S. 20—37.

Mit den im Inhalte sowohl, wie in den Membranen sich vorfindenden Schleimen, ferner mit den Cellulose- und Amyloidverdickungen in den Cotyledonarzellen sind Reactionsversuche bereits in zahlreichen Fällen angestellt worden, von denen einzelne, obwohl sie in die Litteratur übergegangen sind, an Zuverlässigkeit viel zu wünschen übrig lassen.

Barcianu[1]) führt als eine von ihm ausgeführte Reaction auf Schleim successive Behandlung mit Kreosot, Zinnchlorür und Anilin an, welche eine tiefrosarothe Färbung in den Schleimzellen hervorrufen soll. Diese Reaction ist von Poulsen[2]) aufgenommen worden mit der Bemerkung, dass eine Prüfung derselben von ihm nicht angestellt worden sei. Mir ist trotz sorgfältiger Behandlung einer grossen Reihe von Schleimendospermen mit genannten Reagentien eine Färbung des Schleimes nicht gelungen, und dürfte wohl jene Reaction, die Barcianu bei den Onagraceen erhielt, durch andere in den Zellen vorhandene Stoffe hervorgerufen worden sein.

Eine genaue Gruppirung der Schleime in Folge der angestellten Reactionen ist von Behrens[3]) versucht worden, jedoch ist auch diese nicht geeignet, ein klares Bild zu verschaffen, zumal darin auch die Reaction von Barcianu aufgenommen worden, deren Unzuverlässigkeit ich bereits erwähnt. Dort heisst es ferner in dem Absatz über „eigentliche Schleime", worin von dem Amyloid die Rede ist, dass dasselbe zuerst von Vogel und Schleiden in den Cotyledonen von Lupinus und Tropaeolum nachgewiesen sein soll, während Lupinus gar kein Amyloid enthält und dasselbe bei Tropaeolum nicht von Schleiden, sondern von Frank nachgewiesen worden ist.

Als ebenso unzuverlässig erwies sich eine von Szyszlowicz aufgefundene Reaction mittelst Rosolsäure, die Behrens citirt, und noch mehr jene Angabe, dass man mit Hilfe derselben eine Unterscheidung zwischen den Stärke- und Celluloseschleimen herbeizuführen im Stande sein soll. Nach Szyszlowicz wird die Rosolsäure in Natriumcarbonatlösung gelöst, und soll diese purpurrothe

1) Barcianu, Untersuchungen über die Blüthenentwickelung der Onagraceen, Leipzig 1874.

2) V. A. Poulsen, Botanische Mikrochemie, p. 68.

3) Behrens, Hilfsbuch zur Ausführung mikroskopischer Untersuchungen, Braunschweig, p. 311—314; und: Nectarien der Blüthen, Flora 1879, p. 450.

Flüssigkeit die Stärkeschleime dauernd röthen, und die Färbung selbst durch längeres Kochen in Alkohol nicht zerstört werden können. Gleichfalls sollen die Celluloseschleime gefärbt, die Färbung aber durch kalten, besonders durch siedenden Alkohol wieder zerstört werden.

Ich habe Schnitte durch die Schleimendosperme der Leguminosensamen, die aus echtem Schleim und nicht aus Celluloseschleim bestehen, mit jenem Reagens behandelt und gefunden, dass eine Färbung nach längerer Einwirkung zwar eingetreten, dieselbe jedoch sich auch in anderen Theilen der Zelle gezeigt, und dass diese Färbung leicht durch Alkohol wieder zu entfernen war. Hiernach wäre der Schleim in den secundären Wandverdickungen der Leguminosensamen zu den Celluloseschleimen zu rechnen, wogegen alle anderen Reactionen und Versuche sprechen.

Legt man ein Präparat, in dessen Zellen Schleim vorhanden ist, in Wasser, so quillt gewöhnlich derselbe zu einer klaren Flüssigkeit auf, wodurch er einer genaueren Betrachtung entzogen wird. In selteneren Fällen wird er körnig und seine Schichtung sichtbar (Crotalaria verrucosa).

A. Meyer theilt mit, dass man zur Beobachtung der Schleime die Schnitte in Bleiessig [1]) zu legen habe, worin der Schleim nicht quillt wie in Wasser, oder sie mit dem Zuckerreagens (Kupfersulfat-Kali) zu behandeln habe, wodurch der Schleim blau gefärbt wird. Dort heisst es ferner: „Da Schleime in Alkohol unlöslich sind, so kann man sich die Schleiminhalte der Zellen durch Einlegen in Alkohol deutlich machen. Der Schleim ist dann meist als ein die Zelle nicht mehr ganz erfüllender Klumpen (sehr schön in den Zwiebeln von Scilla maritima) zu beobachten. In Wasser quillt der Schleim zu einer zähen, fadenziehenden Masse, und verhält sich nur das Schutzgummi durchweg anders. Es quillt weder in Wasser, noch selbst in Kali, ist in Schwefelsäure unlöslich und stimmt nur darin mit den echten Schleimen überein, dass es bei der Oxydation mit Salpetersäure (neben Oxalsäure) Schleimsäure liefert."

Die durch Jod und Jodschwefelsäure sich gelb färbenden Schleime

1) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie.



werden von Tschirch als die echten von den sogenannten Celluloseschleimen, die noch die Cellulosereaction zeigen, unterschieden.

Die echten Schleime geben bei Oxydation mit Salpetersäure[1]) (neben Oxalsäure) Schleimsäure (Samen von Linum, Plantago Psyllium, Wurzel von Althaea officinalis); die Celluloseschleime liefern bei gleicher Behandlung keine Schleimsäure, sondern nur Oxalsäure (Cydonia, Salvia). „Die echten und die Celluloseschleime sind in Kupferoxydammon unlöslich, wovon nur der Same von Plantago Psyllium eine Ausnahme macht. Zu den Celluloseschleimen gehört auch der Schleim im Inhalte der Orchisknollen; zu einer besonderen Gruppe der echten Schleime das durch Metamorphose der Membranen und aus zuströmendem Material entstehende Gummi der Acacien (Gummi arabicum) und das Kirschgummi, sowie das den secundären Membranverdickungen entstammende des Traganthstrauches u. A., schliesslich der Schleim der Gallertscheiden der Algen.“ Die Quellbarkeit der Schleimmembranen in Wasser und in Kali ist eine verschiedene.

Was nun die Reactionen der Schleimendosperme bei den Samen der Leguminosen anbelangt, so fand ich als das zuverlässigste Reagens Jodschwefelsäure, welches bei ihnen durchgängig eine mehr oder weniger gelbe bis braune Färbung hervorruft und beim Eintreten der Reaction oftmals die Schichtung in der Membran recht deutlich erkennen lässt. Bei denjenigen Samen, bei welchen die Verschleimung nur schwach ist, tritt zugleich mit der Gelbfärbung der secundären Wandverdickungen auch die Cellulosereaction als Blaufärbung in der primären Membran ein. Samen mit sehr mächtigen Schleimendospermen haben auch die primäre Membran mit Schleim infiltrirt und bei diesen bedarf es erst einer vorherigen Behandlung des Endosperms mit verdünnter Kalilauge, um mit Jodschwefelsäure in der primären Membran eine Blaufärbung zu erhalten.

Wässerige und alkoholische Jodlösung allein, oder Chlorzinkjod bringen keine Färbung der Schleimendosperme mit sich. Alkohol wie Glycerin fällen den Schleim der Membran, zu einem Gerinsel der erstere, zu einer körnigen Masse das letztere. Durch Zufliessen-

1) Frank, l. c. p. 162.

lassen von Glycerin zu einem in Wasser liegenden Präparate kann man die Schichtung in den Schleimauflagerungen hervorrufen. Bei Behandlung mit Säuren, wie Salpetersäure, Salzsäure, Chromsäure und Schwefelsäure, verquillt die primäre Membran der Endospermzellen, ohne dass die Innenschichten sich zeigen.

Die in den Cotyledonarzellen vorhandenen Auflagerungsschichten bestehen bei einigen Samen aus reiner Cellulose und werden daher durch Jodschwefelsäure gebläut, z. B. Lupinus albus, L. angustifolius und luteus, Erythrina Corallodendron.

Anders verhält es sich dagegen mit den Amyloidauflagerungen. Die Reactionen dieser Substanz haben schon vielfach Erwähnung gefunden[1]) und will ich von diesen nur die wichtigsten hervorheben.

Wenn frische Jodtinctur auf die Schnitte gebracht und diese dann mit Wasser befeuchtet werden, oder wenn frische, mit Wasser verdünnte Jodtinctur Anwendung findet, so tritt unmittelber keine Färbung ein. Findet dagegen eine Lösung von Jod in verdünnter Jodwasserstoffsäure oder alte Jodtinctur Verwendung, so färbt sich die Auflagerung mehr oder weniger schmutzig blau. Jod in verdünnter Jodkaliumlösung färbt dieselbe sogleich rein blau und bewirkt zu gleicher Zeit ein schwaches Aufquellen der Membranen. Concentrirte Jodjodkaliumlösung färbt braunorange, und genügt ein Zusatz von Wasser schon, diese Farbe sofort in die blaue überzuführen. Die durch Jod in verdünnter Jodkaliumlösung dunkelblau gefärbten Schnitte gehen bei Zusatz von reichlichem Wasser nach einiger Zeit durch Hellblau in den farblosen Zustand über. Um also die Bläuung der Membran vermittelst Jod hervorzurufen ist es nicht nur nothwendig, dass die Membran die richtige chemische und physikalische Beschaffenheit besitze, sondern dass ausser dem färbenden Jod auch eine der assistirenden Verbindungen anwesend sei, wozu vorzugsweise Jodwasserstoffsäure und Jodkalium zu rechnen sind.

---

1) Vogel u. Schleiden, Ueber das Amyloid, eine neue Pflanzensubstanz. Beiträge zur Botanik, Schleiden, Bd. I. — Nägeli, Ueber die Reaction von Jod auf Stärkekörner und Zellmembranen. Bot. Mittheilungen Bd. I, Sitzung d. math.-phys. Classe vom 16. Mai 1863. — Heinricher, l. c.

Die Function der Schleime ist eine äusserst verschiedene, und ist dieselbe vielfach von der Lage des Schleimes abhängig. Es ist wesentlich, ob derselbe in den Oberhautzellen oder in den tiefer liegenden Theilen des Gewebes unterirdischer oder oberirdischer Organe sich vorfindet.

Bei Scilla maritima, Allium Cepa ist sein Auftreten als Reservestoff zweifellos, da er beim Austreiben der Zwiebel nach und nach verschwindet. Dieselbe Function wird dem Schleiminhalte der grossen Schleimzellen der Orchisknollen und wahrscheinlich auch bei dem, der im Gewebe des Rhizoms von Symphytum officinale auftritt, zugeschrieben und ein Gleiches von den Schleimen der Queckenwurzel (z. B. dem Triticin) vorausgesetzt.

Anders verhält es sich mit dem Schleim der oberirdischen Organe. Der Markkörper der sogenannten Succulenten ist mit Schleim erfüllt und ist hier der Schleim ein Anpassungmittel an trockenes Klima[1]), da schleimige Flüssigkeiten einer langsameren Verdunstung ausgesetzt sind, ja sogar die Fähigkeit besitzen, in concentrirter Form Wasser anzuziehen. Nach Tschirch sind in der That alle Succulenten, z. B. Aloe, Euphorbia resinifera, Bewohner trockener Gegenden, und er fand, dass diese Pflanzen sogar befähigt waren, selbst von dem Boden losgelöst, ja abgeschnitten noch lange Zeit frisch zu bleiben.

Denselben Zweck, wie dem Schleim aus Orchis Morio, O. mascula spricht er den Membranschleimen in den Wurzeln zu, z. B. von Althaea officinalis. „Sie sind Reservestoffe, wennschon es an Untersuchungen darüber fehlt, ob sie im Frühling wirklich gelöst und verwendet werden und eigentlich nicht einzusehen ist, warum die Pflanze neben der colossalen Masse von Stärke noch in einigen besonderen Zellen ein anderes Kohlehydrat speichert.“ Vollständig im Unklaren ist man noch über die Bedeutung der Membranschleime in den Rinden (Cassia cinnamomum). Dass man z. B. bei der Zimmetrinde sehr häufig die Schleimzellen entleert findet, scheint freilich auch hier auf einen Verbrauch zu deuten. Vielleicht dienen beide auch als Wasserspeicher“[2]). Die Schleimepidermen der Samen

1) Vergl. Tschirch, Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilationsorgane zu Klima und Standort. Linnaea 1881, p. 156.

2) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie.

(Linum, Cydonia, Plantago Psyllium, Sinapis) dienen, wie Versuche, die Tschirch und Lüdtke angestellt haben, zeigen, zur Befestigung des Samens im Boden und sind dieselben vermöge ihrer wasseranziehenden Kraft bei der Wasserversorgung der Keimpflanze sicher von ganz besonderer Bedeutung [1]). Der Wasserversorgung resp. der Erhaltung des zugeführten Wassers, also als Wasserreservoirs, dienen auch die eigenthümlichen, an den Gefässbündelendigungen zu Gruppen angeordneten Schleimzellen der Blätter von Viscum und Loranthus [2]), deren Schleim gleichfalls in Form secundärer Schleimverdickungen auftritt, sowie der merkwürdigen subepidermalen Schleimzellen der Blätter von Barosma crenata und crenulata, deren Stammpflanzen Bewohner der trockenen Gebiete des Caplandes sind.

Die Schleimendosperme bei den Leguminosen findet man bei Haberlandt [3]) als Quellschichten bezeichnet. Hanstein nennt dieselben „innere Quellapparate". Meine auf Veranlassung von Herrn Dr. Tschirch angestellten Untersuchungen sollten nun entscheiden, ob der Schleim der secundären Schleimmembranen wirklich nur die Bedeutung eines Wasserreservoirs und die Schleimendosperme nur Quellschichten darstellen, oder ob sie auch noch andere Functionen oder vielleicht diese allein besitzen. Die Frage, ob sie nur Reservestoffbehälter sind, ist in prägnanter Form noch nicht gestellt worden, und soll es meine Aufgabe sein, Folgendes festzustellen:

Sind die Schleimendosperme der Leguminosensamen in erster Linie Reservestoffbehälter und der in den Zellen als secundäre Wandverdickung vorhandene Schleim Reservestoff? Mein Ergebniss, welches diese Frage in positivem Sinne beantwortete, veranlasste mich gleichzeitig, folgende Betrachtung anzustellen:

Ist überall dort, wo die Samen mit Schleimendospermen versehen sind, im Verhältniss zur Mächtigkeit derselben das Auftreten anderer Reservestoffe ein geringeres?

Im Zusammenhange mit dieser Frage stand eine andere: ob in den Samen eine Korrelation zwischen den Kohlehydraten unter-

---

1) Vergl. Klebs, Beiträge zur Morphologie und Biologie der Keimung. Unters. des bot. Inst. Tübingen, Bd. I, p. 581.

2) Marktanner-Turneretscher, Zur Kenntniss des anatomischen Baues unserer Loranthaceen. Wiener Akad. 1885.

3) Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, Quellungsgewebe, p. 275.

einander und andererseits zwischen diesen und den anderen Reservestoffen nachweisbar sei, ferner ob die Samen der Leguminosen nicht nach den in ihnen auftretenden Reservestoffen in eine bestimmte Gruppirung gebracht werden können?

Um nun meine erste Frage beantworten zu können, stellte ich mir folgende Aufgaben: Wie verhalten sich die secundären Wandverdickungen in den Schleimendospermzellen bei der Keimung der Samen? Werden dieselben gelöst und verbraucht oder nicht, und in welcher Weise geht eventuell die Lösung vor sich?

Ferner schien es mir auch wünschenswerth, zu ergründen, in welcher Weise die Entwickelungsgeschichte, die Anlage der secundären Membranverdickungen in den Schleimendospermzellen verläuft, ob der Schleim direct als solcher angelegt, oder ob es erst einer nachträglichen Metamorphose bedarf?

Zu gleichen Betrachtungen boten mir die secundären Wandverdickungen in den Zellen der Cotyledonen Veranlassung, die in denselben in Form von Cellulose oder Amyloid, niemals in Form von Schleim auftreten. Haberlandt[1]) ist der Ansicht, dass Wandauflagerungen, wie sie z. B. Lupinus besitzt, bei der Quellung der Samen möglicherweise als Schwellapparate dienen, eine Function, die ich für dieselben jedoch nur in zweiter Linie gelten lassen möchte.

Derartige Cellulosewandverdickungen finden sich auch im Endosperm (z. B. der Dattel). — Heinricher[2]) schreibt noch die grosse Widerstandsfähigkeit der Samen gegen mechanische Verletzungen im ungequollenen, trockenen Zustande diesen Wandverdickungen zu. Da derartige Samen, besonders deren Cotyledonen, sehr hart sind und auch ihr Aussehen von schwach gelblicher Farbe ist, so ist man in der That dazu berechtigt, dieselben ebenso mit Elfenbein zu vergleichen, wie sich bereits für den Samen von Phytelephas macrocarpa diese Bezeichnung vollständig eingebürgert hat. Zur Härte der Samen aus der Abtheilung der Leguminosen tragen jedoch noch andere Factoren bei, besonders ist es die Härte der Testa, bedingt durch die Palissadenzellen.

1) Haberlandt, l. c. p. 288.
2) Heinricher, l. c. p. 15.

Da auch bei den secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen es mir unwahrscheinlich schien, dass mit jenen Ansichten Haberlandt's und Heinricher's ihre Functionen erschöpft seien, stellte ich mir auch hier folgende Fragen: Haben die secundären Wandverdickungen der Cotyledonarzellen, entsprechend denen der Endospermzellen, noch andere Functionen als die bereits genannten? Dienen sie denselben nur als Reservestoffe oder nicht? Schliessen sich die secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen ebenfalls der Korrelation der Kohlehydrat-Reservestoffe einerseits und der Reservestoffe im Allgemeinen an und ist durch ihr Vorhandensein etwa das geringere Auftreten anderer Reservestoffe bedingt?

Um die erste Frage zu ergründen, bedurfte es auch hier einer Anstellung von Versuchen, die mir beantworten sollten, ob bei der Keimung der Samen die secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen gelöst und verbraucht werden oder nicht, und auf welche Weise im Falle einer Lösung dieselbe vor sich geht.

Aehnlich wie von den secundären Wandverdickungen in den Endospermzellen glaubte ich auch von denen der Cotyledonarzellen ihre Entwickelungsgeschichte beobachten zu müssen und suchte dabei zunächst zu erforschen, wie die Anlage der secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen vor sich geht. Sodann handelte es sich noch darum, zu ergründen, ob bei allen Samen die secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen als Cellulose angelegt werden, oder ob etwa dann bei denjenigen Samen, die im reifen Cotyledon Amyloid enthalten, eine Metamorphose in Amyloid vor sich geht, oder ob die Anlage bei diesen direct als Amyloid geschieht.

Anatomischer Theil.

Bevor ich auf die anatomischen Verhältnisse der Leguminosensamen in einer Einzelbeschreibung näher eingehe, will ich vorausschicken, dass das Schleimendosperm in sämmtlichen untersuchten Unterabtheilungen der Leguminosen vorkommt (mit Ausnahme der Geoffreen und Swartzieen) aber nicht bei allen Gattungen und Arten.

Von diesen beiden Unterabtheilungen hat Schleiden[1]) nur je einen Samen zur Verfügung gehabt, mir stand auch kein Material zu Gebote, so dass von den beiden endospermfreien Samen eigentlich kein Schluss auf diese beiden Unterabtheilungen gezogen werden kann.

Ein Theil der Leguminosensamen ist also vollständig endospermfrei, bei einigen Samen ist das Endosperm schwach, bei anderen stärker entwickelt, bei einzelnen wird es sogar derartig mächtig, dass es den grössten Theil des Samens einnimmt.

Ich beabsichtige nun, die Samen nacheinander, bei den meisten aber nur in den für die Aufgabe wichtigen Theilen zu beschreiben, und zwar werde ich mit den endospermfreien beginnen und von diesen allmählich zu denen mit mächtig ausgebildetem Endosperm übergehen.

Edwardsia chinensis und Sophora tomentosa.

Diese beiden zur Unterabtheilung der Sophoreen gehörigen Samen besassen kein Endosperm. Schleiden bezeichnete es in der bereits citirten Arbeit bei Edwardsia microphylla, dessen Samen er untersuchte, für sehr schwierig, eine Entscheidung zu treffen, ob in demselben Endosperm vorhanden sei oder nicht; dagegen hatte er bei zwei anderen Arten der Gattung Sophora, bei S. japonica ein starkes, bei S. alopecuroides L. ein mässiges Endosperm gefunden.

Was die Cotyledonen von Edwardsia chinensis und Sophora tomentosa anbelangt, so findet man bei beiden im Inhalte der Zellen eine starke Ablagerung von Stärkekörnchen, ausserdem noch Aleuron und Fett. —

Von den Vicieen waren Cicer arietinum, Vicia, Ervum, Pisum, Lathyrus sativa alba endospermfrei. — Schleiden hatte bei Lathyrus tingitans ein Endosperm gefunden. — Die Zellen der Cotyledonen zeigen eine schwach verdickte Wandung und sind mit grossen charakteristischen Stärkekörnern angefüllt. Daneben findet sich noch überall Aleuron, dagegen ist Fett nicht durchgängig verbreitet, es fehlt z. B. bei den Samen von Pisum, Ervum, Vicia.

Auch bei den Phaseoleen ist das Vorkommen des Endosperms

1) Schleiden u. Vogel, l. c.

im Ganzen nicht sehr häufig. Ich habe es nur bei Soja und Abrus sehr schwach entwickelt gefunden; Schleiden[1]) will das Albumen bei Rhynchosia ebenfalls unbedeutend, bei Kamedya rubicunda stark entwickelt gesehen haben. Doch sind besonders in dieser Unterabtheilung vielfach Samen zu finden, die durch starke secundäre Wandverdickung der Cotyledonarzellen ausgezeichnet sind, so haben dieselben Lupinus, Erythrina, Mucuna u. A.

Die Gattung Phaseolus zeigt ganz analog den bereits erwähnten Vicieen, dass bei Abwesenheit des Endosperms in irgend einem anderen Theile des Samens eine starke Ablagerung von Reservestoffen vorhanden ist. So liegen in den schwach verdickten Cotyledonarzellen sehr grosse charakteristische Stärkekörner, die die Zellen derartig erfüllen, dass nur sehr wenig Aleuron und Fett noch darin Platz gefunden.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei Lupinus. Sämmtliche untersuchten Species waren endospermfrei, mit Ausnahme von L. polyphyllus und L. luteus. Bei L. polyphyllus war zwischen der Radicula und den Cotyledonen und bei L. luteus stellenweise eine ganz schwache Andeutung von Endosperm vorhanden. Schleiden[2]) will bei L. tomentosus und L. macrophyllus Albumen, wenn auch nur in sehr dünner Schicht gefunden haben.

Ich habe Beobachtungen an L. albus, angustifolius, luteus und polyphyllus angestellt und fand, dass während bei L. polyphyllus die Cotyledonen weder Wandverdickungen noch Stärke, sondern nur grössere Aleuronkörner und Fett enthielten, sich bei den drei übrigen Species ganz andere Verhältnisse zeigten.

Bei diesen war eine Ablagerung von einem anderen Kohlehydrat zu constatiren, bestehend in einer Verdickung der Zellwände der Cotyledonen in Gestalt von schwach lichtbrechenden, parallel laufenden Auflagerungsschichten von Cellulose. Ganz besonders deutlich trat diese schichtenartige Auflagerung bei L. angustifolius zu Tage (Taf. XVI, Fig. 7) bei Behandlung der Querschnitte mit Farbstofflösungen, oder noch besser mit Eisenchloridlösung. Die Zellen waren vornehmlich an den Ecken und dort rundlich collenchymatisch verdickt.

---

1) Schleiden, l. c. p. 20.
2) Schleiden, l. c. p. 17.

Betrachtet man einen Querschnitt durch die Cotyledonen in Wasser und Glycerin, so hat es das Aussehen, als ob die Auflagerung eine einzige zusammenhängende Schicht wäre. In Alkohol kam auch hier die schichtenartige Auflagerung wiederum zum Vorschein, jedoch nicht so deutlich, wie bei Behandlung mit den bereits vorher erwähnten Reagentien. Auch L. albus zeigt diese Auflagerung deutlich bei Anwendung derselben Flüssigkeiten; schwächer erscheint sie bei L. luteus, ist jedoch ebenfalls vorhanden. Die Behandlung mit Jodreagentien führte mich zu dem bestimmten Schlusse, dass die Auflagerung aus reiner Cellulose besteht. Da wässerige Jodjodkaliumlösung keine Reaction gab, war die Anwesenheit von Amyloid ausgeschlossen; dagegen färbte Jodschwefelsäure die Auflagerungsschichten schön blau, womit Cellulose nachgewiesen war. Trotz der Untersuchung bei einer sehr grossen Anzahl von Lupinensamen, speciell von L. luteus, von dem Harz[1]) erwähnt, dass er bei ihm vereinzelt Amyloid-Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen gefunden habe, was auch Heinricher[2]) anführt, ist es mir nicht gelungen, auch nur einen einzigen Samen zu finden, welcher Amyloid enthielt.

Ausser diesen Kohlehydraten besitzen die Cotyledonen der Lupinensamen sehr grosse Aleuronkörner und viel Fett, jedoch keine Spur von Stärke. Godfrin[3]) führt dagegen bei Lupinus albus an, dass in demselben bei der Reifeentwickelung Stärke auftrete und zum Schluss auch verbleibe, eine Thatsache, deren Nachweis mir trotz des Nachsuchens bei einer ungeheuer grossen Anzahl von reifen Samen nicht gelungen ist, so dass ich den ruhenden Samen von L. albus ebenfalls als stärkefrei erklären muss.

Dolichos giganteus und Cajanus indicus.

Beide Samen besitzen kein Endosperm. Auch die Cotyledonen stimmen miteinander überein; sie sind mit grossen charakteristischen Stärkekörnern angefüllt und enthalten daneben nur wenig Aleuron und Fett. Die Membranen der Zellen zeigen jedoch bei Dolichos eine unbedeutende Celluloseverdickung, während bei Cajanus ziemlich stark verdickte Wandungen vorhanden sind.

1) Harz, Landwirthschaftliche Samenkunde.
2) Heinricher, Zur Biologie der Gattung Impatiens. „Flora", Jahrg. 1888.
3) Godfrin, Annales des sciences Naturelles, 6. Sér., Tome XIX, 1884.

Physostigma venenosum.

Auch Physostigma besitzt kein Schleimendosperm. In den dünnwandigen Cotyledonarzellen findet sich dafür als stellvertretendes Kohlehydrat eine Anhäufung von ganz besonders grossen, charakteristischen Stärkekörnern, von denen zwei bis drei oftmals zur Anfüllung einer ganzen Zelle genügen. Nebenbei sind noch reichlich Aleuronkörner vorhanden.

Erythrina Corallodendron.

Der prachtvoll korallenrothe Samen besitzt an einer, und zwar an der der Chalaza abgewandten, unregelmässigen Seite einen schwarzen Fleck, welcher ungefähr ein Drittheil seiner Grösse einnimmt. Die Micropyle ist 1—2 mm tief und 3 mm lang. Der Same besitzt kein Schleimendosperm, dafür aber in den Cotyledonarzellen schwach lichtbrechende secundäre Wandverdickungen aus Cellulose, analog den bereits beschriebenen Lupinenarten. Diese Wandverdickungen bedingen die Härte der Cotyledonen. Das Lumen der Cotyledonarzellen, welches keine Stärke enthält, sondern nur Aleuron und Fett, breitet sich sternförmig aus und grenzen die Strahlen des Lumens der einen Zelle an die der benachbarten Zellen an, die Verdickungen durchbrechend, so dass nur die primären Membranen die Scheidewand zwischen denselben bilden.

Mucuna.

a) M. urens.

In der Testa dieses Samens finden wir, auf die Palissaden- und Trägerzellen folgend, ein grosses, aus gleichmässig verdickten Zellen bestehendes Gewebe, welches gewöhnlich für das Wassergewebe gehalten wird.

Dass es hier nur die Function eines Wassergewebes erfüllt, bezweifele ich zwar, bin jedoch nicht in der Lage, durch keimfähiges Material Untersuchungen hierüber anzustellen. Ein Schleimendosperm ist nicht vorhanden. In den Zellen der Cotyledonen findet man dagegen schwach lichtbrechende, secundäre Membranverdickungen, wie sie bereits bei Lupinus geschildert sind, die jedoch

nicht aus Cellulose, sondern aus Amyloid bestehen. Der Nachweis dieses Stoffes in M. urens u. A. ist bereits von Vogel und Schleiden in ihrer Abhandlung „Ueber das Amyloid etc.“ geführt worden. Neben Amyloid findet man in den Cotyledonarzellen noch vereinzelt liegende grössere Stärkekörner, und kann man durch Behandlung mit wässeriger Jodjodkaliumlösung deutlich die Differenz in der Färbung, d. h. in der Aufspeicherung von Jod zwischen Stärke und Amyloid beobachten. Man sieht, dass die Stärke bedeutend dunkler gefärbt ist als das Amyloid, mithin auch eine grössere Menge Jod aufzuspeichern[1]) im Stande ist.

b) M. prurita.

Die bei M. urens beobachtete Schicht dickwandiger Zellen ist hier nicht vorhanden, ebenso wenig die Auflagerung von Amyloid in den Cotyledonarzellen. Nur durch die Abwesenheit des Schleimendosperms stimmt dieser Same mit dem von M. urens überein. An Stelle des Amyloids liegen in den Cotyledonarzellen sehr grosse charakteristische Stärkekörner mit Aleuron und Fett vermischt.

Die von mir untersuchten, zur Unterabtheilung der Mimoseen gehörigen Samen waren zufällig sämmtlich endospermfrei, und zwar waren es die Samen von Acacia Senegal, concinna, lophanta; Entada Pursaetha; Prosopis strombulifera. Vogel und Schleiden haben jedoch in der bereits mehrmals citirten Arbeit ein Albumen gefunden bei Mimosa pudica, Mim. prostrata; Prosopis domingensis, Desmanthus und anderen Arten der Gattung Acacia.

Acacia[2]).

a) A. Senegal.

Der Same besitzt kein Schleimendosperm. Es folgt auf die Palissaden- und Trägerschicht ein grosses Gewebe dickwandiger

---

1) Nach Mylius, Bericht d. chem. Ges. 1887, p. 668, bildet die Stärke mit Jod eine Verbindung, die jedoch ausserordentlich locker ist (18 % Jod). Er hat nachgewiesen, dass Jodstärke eine Verbindung von Jod mit einer farblosen Jodstärke ist und die Formel $(C_{24}H_{40}O_{20}J)_4JH$ besitzt.

2) Schleiden's Untersuchungen ergaben, dass Albumen vorhanden war bei folgenden Samen: Acacia farnesiana W., A Berteriana Dl. C., A. acanthocarpa Dl. C., und dass es fehlte bei denen von Acacia graveolens, A. stricta, A. melanoxylon, A. longifolia, A. tetragona, A. westiana, A. lophanta.

Zellen, deren Wandungen aus Cellulose bestehen und die im Lumen einen dasselbe vollständig ausfüllenden Harzklumpen enthalten. Die verdickten Cellulosewandungen in den Zellen des dickwandigen Gewebes sind hier ebenfalls, wie ich bereits von Mucuna urens angegeben, nicht nur Wassergewebe, sondern wahrscheinlich auch Aufspeicherungen von Kohlehydrat-Reservestoffen. Ihre Function konnte ich leider wegen Mangels an keimfähigem Material nicht feststellen. Gleichviel, ob das dickwandige Gewebe der Testa oder dem Endosperm angehört, was nur entwickelungsgeschichtlich nachgewiesen werden kann, so scheint doch sicherlich in den Wandungen Reservestoff aufgespeichert zu sein.

Die Cotyledonen enthalten sehr viel Aleuronkörner, Fett und wenig vereinzelt liegende Stärkekörnchen. Die Härte des Samens ist sehr bedeutend, wohl durch das dickwandige Gewebe veranlasst.

b) A. concinna.

Auch bei diesem Samen ist kein Schleimendosperm vorhanden. Das bei A. Senegal erwähnte dickwandige Gewebe ist hier ebenfalls stark entwickelt, wenn auch nicht ganz in demselben Umfange. Die Lumina sind auch zum grössten Theil mit brauner Harzmasse erfüllt. Die Cotyledonarzellen sind schwach verdickt und enthalten sehr viele grosse charakteristische Stärkekörner, neben Aleuron und Fett. Die Kohlehydratreservestoffe dieses Samens sind neben etwas Fett die Stärkekörner; ausserdem dienen als solche wahrscheinlich die Cellulosewandverdickungen in dem dickwandigen Gewebe.

c) A. lophanta Willd.

Dieser Same wurde, wie bereits in der Anmerkung erwähnt, schon von Vogel und Schleiden als endospermfrei befunden, was ich bestätigen kann. Das dickwandige Gewebe ist auch hier vorhanden, jedoch sieht man keine Harzablagerung im Lumen der Zellen. Die unbedeutend verdickten Zellen der Cotyledonen enthalten kleine Stärkekörnchen in grosser Menge, ferner Aleuron und Fett.

Entada Pursaetha.

Auch dieser Same besitzt kein Schleimendosperm und verhält sich, was das dickwandige Gewebe und den Inhalt der Cotyledonen anbelangt, genau wie Acacia lophanta.

Prosopis strombulifera.

Während von Schleiden, wie ich bereits in den Eingangsworten über die Mimoseen geschrieben, bei Prosopis domingensis ein Albumen gefunden, welches so bedeutend sein soll, dass in den Wandverdickungen sogar Schichtungen zu erkennen sind, ist die von mir untersuchte Art P. strombulifera für vollständig endospermfrei befunden worden. Die Cotyledonarzellen dieses Samens besitzen keine Verdickungen, haben jedoch sehr viel zerstreut liegende Stärkekörnchen und auch viel Fett neben Aleuronkörnern.

Von den Caesalpiniaceen stellten sich als endospermfrei bei meinen Untersuchungen Samen der Gattungen Voandzeia, Dipterix, Guilandina und Tamarindus heraus.

Bei Voandzeia subterranea war kein Schleimendosperm vorhanden. Im Inhalte der dünnwandigen Cotyledonarzellen waren grosse charakteristische Stärkekörner angehäuft, ferner Aleuronkörner und Fett. Ebenso frei von jeglicher Spur eines Schleimendosperms war der Same von Dipterix odorata, in dessen Cotyledonarzellen viel Stärke und viel fettes Oel, auch Aleuron vorhanden war.

Guilandina Bonduc.

In Bezug auf das Schleimendosperm schliesst sich dieser Same den beiden vorhergehenden vollständig an. Man findet in demselben jenes grosse, dickwandige, in dicker Schicht braun aussehende Gewebe wieder, wie ich es bereits bei Acacia und anderen Samen vorher angeführt habe. Im Lumen desselben ist vielfach eine braune Harzmasse abgelagert. Die Cotyledonarzellen sind zum grössten Theil mit Stärkekörnern angefüllt, so dass sie nebenbei nur noch wenig Aleuron und Fett enthalten.

Tamarindus indica.

Wir beobachten in diesem Samen das Vorhandensein uns bereits bekannter Verhältnisse. Während nämlich in demselben weder eine Spur von Schleimendosperm, noch jenes dickwandige Gewebe, noch Stärke vorhanden ist, stossen wir in den Cotyledonarzellen wiederum auf jene bereits bei Mucuna urens beschriebene Amyloidablagerung.

eigentlichen Schleimendosperm nur stellenweise Spuren collabirter Zellen. Der Reservestoff tritt aber hier in einer Form auf, die von Tichomiroff gänzlich ausser Acht gelassen, nämlich in Form schwach lichtbrechender Wandverdickungen, die aus Cellulose bestehen, wie sie Lupinus und Erythrina ebenfalls zeigen. Tichomiroff erwähnt nur, dass die Zellwand porös verdickt sei und aus reiner Cellulose bestehe.

Die Cotyledonen enthalten noch ausserdem im Inhalte ihrer Zellen Fett und Proteïnsubstanzen.

Soja hispida.

Das Endospermgewebe bestand nur aus einer kleinzelligen, Proteïnsubstanzen und Fett enthaltenden „Kleberschicht". Vom eigentlichen Schleimendosperm waren nur stellenweise Spuren zu entdecken. Auch die Cotyledonarzellen besassen weder Stärke noch secundäre Wandverdickungen, dagegen eine ganz bedeutende Anhäufung von fettem Oel und Aleuron.

Goodia latifolia.

Der Same besitzt in einem Theile der Testa, in der Membran der Palissadenzellen einen violetten Farbstoff. Vom Endosperm sind nur Ansätze vorhanden, und ist die sogenannte Kleberschicht, die Proteïnsubstanzen und Fett enthält, als eine Zellreihe wohl ausgebildet, während vom Schleimendosperm selbst nur sehr geringe Spuren vorhanden sind, so dass von einem eigentlichen Schleimendosperm gar nicht die Rede sein kann. Dagegen findet man in den Zellen der Cotyledonen secundäre Membranverdickungen, Auflagerungen von schwach lichtbrechenden, parallel laufenden Schichten, die besonders an den Ecken der Zellen am stärksten auftreten, und so denselben ein collenchymatisches Aussehen verleihen. Durch wässerige Jodjodkaliumlösung nehmen diese Verdickungen eine Blaufärbung an, bestehen somit aus Amyloidablagerungen. Diese waren bis jetzt in

---

„Unter Kleber versteht man einen Eiweisskörper, der durch Wasser in eine zähe, fadenziehende Masse übergeführt wird. Dieses ist bei den in der „Kleberschicht" enthaltenen niemals der Fall. Da Oel vorwaltet, kann man die Schicht besser „Oelschicht" nennen. Möglicherweise finden sich in ihr aber auch stets Fermente."

den Samen der Cotyledonen von Goodia latifolia nicht bekannt. Im Lumen der Cotyledonarzellen, die stärkefrei sind, befindet sich Aleuron und Fett.

Onobrychis aequidentata.

Vom Endosperm ist nur die sogenannte Kleberschicht als einfache Zellreihe, bestehend aus tafelförmigen Zellen, erhalten, woran sich unmittelbar eine sehr schwache Schicht collabirter Zellen anschliesst, die wohl zum Endosperm zu rechnen sind, aber kaum Spuren von Schleim im Inhalt besitzen. Bei Behandlung eines derartigen Schnittes mit Jodschwefelsäure tritt sofort an der collabirten Zellmembran die Cellulosereaction ein. Die Kleberzellen enthalten Proteïnsubstanzen und Fett. Die Zellen der Cotyledonen sind dünnwandig und haben im Inhalte sehr viel Stärke, ferner Aleuronkörner und fettes Oel.

Anthyllis vulneraria.

Es ist ein nur so kleines Endosperm in dem Samen von A. vulneraria vorhanden, dass man es mit unbewaffnetem Auge nicht erkennen kann. An die sogenannte Kleberschicht, welche einreihig, mit Fett und Proteïnsubstanzen angefüllt ist, schliessen sich vom Schleimendosperm eigentlich nur Ueberreste an, und findet man an einzelnen Stellen collabirte Zellen, an anderen 1—2 wohl ausgebildete Zellreihen mit darauf folgender collabirter Schicht. Hin und wieder sind im Endosperm noch Plasmareste vorhanden.

Die Cotyledonarzellen sind dünnwandig und haben neben sehr viel Stärkekörnern Aleuron und fettes Oel im Inhalte.

Caragana Pygmaea.

Ein kleines Endosperm befindet sich bei diesem Samen, beginnend mit einer „Kleberzellreihe", an welche sich 2—3 Reihen radial gestreckter Zellen anschliessen. Während die Kleberzellen Proteïnsubstanzen und Fett enthielten, gelang es mir im eigentlichen Endosperm nur äusserst geringe Spuren von Schleim zu constatiren. In den dünnwandigen Zellen der Cotyledonen fand sich eine sehr starke Ablagerung von Stärkekörnchen, die dort zugleich mit Aleuron und Fett vorkamen.

Ononis spinosa.

Das Endosperm ist, wie bei den vorhergehenden Samen, mit blossem Auge kaum sichtbar. Es besteht aus einer einreihigen, dickwandigen, sogenannten Kleberzellschicht und dem Endosperm, welches hier nur aus einigen collabirten Zellreihen gebildet ist, deren Zellen kaum eine Spur von Schleim enthalten. Die Kleberschicht ist mit Proteïnsubstanzen und Fett erfüllt. In den dünnwandigen Cotyledonarzellen ist eine grosse Menge von Stärkekörnchen abgelagert, die mit Aleuron und fettem Oel vermischt sind.

Hedysarum Sibiricum Poir.

Das Endosperm ist ohne Anwendung von Lupe kaum sichtbar und auch in Wasser mittelst Mikroskop betrachtet, von nur geringer Breite. Im Verhältniss zur Testa, in Wasser gemessen, beträgt es kaum die Hälfte derselben. Es beginnt mit einer Reihe tafelförmiger Zellen, der sogenannten Kleberschicht, deren Inhalt aus Fett und Proteïnsubstanzen besteht. Das eigentliche Schleimendosperm, welches sich hieran anschliesst, enthält nur 1—2 Reihen radial gestreckter, fast durchsichtiger Zellen, deren Membranen gleichmässig verdickt sind. Diese secundären Verdickungen bestehen aus Schleim und werden mittelst Jodschwefelsäure gelb gefärbt. Abgeschlossen nach innen wird das Endosperm durch eine schwache, collabirte Schicht. Im Inhalt der Cotyledonarzellen finden wir ziemlich grosse und sehr zahlreiche Stärkekörner, ferner Aleuronkörner und Fett.

Coronilla montana.

Auch bei diesem Samen ist ohne Lupe kaum ein Endosperm wahrzunehmen, es ist jedoch schwach vorhanden. Was die Breite des Endosperms anbelangt, so ist dieselbe bei C. montana sehr verschieden. Während bei einer grossen Anzahl von Samen das Endosperm an den dicksten Stellen, in der Mitte der Testa, in Wasser gemessen durchnittlich eine Breite von 80 Mikr. besass, fand ich es bei einigen Samen bis 160 Mikr., also doppelt so gross. Die gesammte Samenschale betrug 190 Mikr., wovon allein 70 Mikr. auf die Palissadenzellen entfallen. Das Endosperm beginnt hier ebenfalls mit einer Reihe tafelförmiger Kleberzellen, die Proteïnsubstanzen

und Fett enthalten. Hieran schliesst sich das eigentliche Schleimendosperm an. Es besteht aus 3—4 Reihen regelmässiger, radial gestreckter, farbloser, in der Regel gleichmässig verdickter Zellen und wird nach innen abgeschlossen von einer collabirten Schicht. Bei denjenigen Samen jedoch, bei denen ich das Schleimendosperm stärker entwickelt gefunden habe, ist die Verdickung keine so gleichmässige mehr und bemerkt man im Inhalt der Zellen noch vielfach Plasmareste. Bei Anwendung von den Schleim fällenden Reagentien, wie Alkohol und Glycerin entstand eine schwach körnige Fällung; bei Behandlung mit Jodschwefelsäure eine Gelbfärbung der Schleimzellen, bis auf die primäre Membran, welche letztere blau gefärbt wurde.

In dem Verhältniss, wie (gegen Hedysarum) das Endosperm stärker ausgebildet ist, war ein geringeres Vorhandensein von Stärke in den Cotyledonarzellen zu bemerken, welche sich hier zerstreut neben Aleuronkörnern und Fett vorfindet.

Glycyrrhiza echinata und Robinia Pseudacacia.

Das Endosperm dieser beiden Samen ist schwach entwickelt, so dass es im quer durchschnittenen Samen nur bei ganz genauer Betrachtung zu erkennen ist. Es erreicht, in Wasser gemessen, bei Glycyrrhiza beinahe die Grösse der schwachen Testa, bei Robinia Pseudacacia ist dasselbe noch geringer. Die sogenannte Kleberschicht, der erste Theil des Endosperms, ist ein- bis zweireihig, und enthalten ihre Zellen im Inhalt Proteïnsubstanzen und Fett. Die Fortsetzung hiervon, das eigentliche Schleimendosperm, besteht aus 2—3 Reihen radial gestreckter Zellen, deren Schleimmembranen in Wasser aufquellen. Bei Robinia Pseudacacia waren noch vielfach Plasmareste im Inhalt der Schleimendospermzellen zurückgeblieben. Die Cotyledonarzellen beider Samen sind stärkefrei, enthalten aber im Inhalt Aleuronkörner und Fett.

Spartium junceum.

Der mir zu Gebote stehende Same schien nicht ganz zur Reife gelangt zu sein. Sein Endosperm war bereits vollständig entwickelt, aber nicht von grosser Bedeutung, ungefähr von der Grösse der schwachen 34—36 Mikr. dicken Testa. Die einreihige und nur

stellenweise vorhandene „Kleberschicht“ enthielt Proteinsubstanzen und Fett. In dem sich daran anschliessenden eigentlichen Schleimendosperm, dessen radial gestreckte Zellen schwache secundäre Schleimmembranen besassen, fanden sich noch Plasmareste in ziemlich grosser Menge vor. — In den Cotyledonarzellen war keine Spur von Stärkekörnchen wahrzunehmen, nur Aleuron und Fett.

Ornithopus sativus.

Das Endosperm besteht aus mehreren — gewöhnlich zwei bis vier — Reihen sogenannter Kleberzellen und dem eigentlichen Schleimendosperm. Während die Kleberzellen im Inhalt noch mit Proteinsubstanzen und Fett ziemlich erfüllt sind, ist vom Inhalt der Schleimendospermzellen Nichts mehr zu bemerken, da durch die secundären Verdickungen die Auflagerung des Schleimes in der Membran durch die ganzen Zellen eine ziemlich gleichmässige geworden. Die radial gestreckten Zellen sind fast durchsichtig und quellen besonders im Wasser stark auf. Obwohl das Schleimendosperm mit blossem Auge kaum zu erkennen war, hatte es an seiner dicksten Stelle, in Wasser gemessen, infolge seines starken Aufquellens beinahe 150 Mikr. Breite erreicht, so dass es ein halb Mal dicker, als die gesammte 100 Mikr. breite Testa war. Immerhin ist die Verschleimung der Membran noch bei diesem Samen eine ziemlich geringfügige, was sich am besten bei der Behandlung mit Jodschwefelsäure zeigte, indem bei der primären Membran sofort die Blaufärbung eintrat, während es bei den stärker verschleimten Samen erst einer längeren Einwirkung des Reagens bedurfte, um die Reaction hervorzurufen. Der Schleim der secundären Schleimmembran wurde durch Jodschwefelsäure unter Gelbfärbung feinkörnig gefällt.

Die Cotyledonarzellen enthielten keine Stärke, nur Aleuronkörner und Fett.

Galega officinalis.

Das Endosperm von G. nähert sich schon bedeutend in seinen anatomischen Verhältnissen dem seines mächtigeren Schleimendosperms wegen erst später näher zu betrachtenden Samen von Trigonella faenum Graecum, den ich als Typus für eine grosse Anzahl von Endospermen ausführlicher beschreiben werde.

und Proteïnsubstanzen erfüllt. Legt man einen Schnitt durch das Endosperm in wässerige Jodjodkaliumlösung, so werden die secundären Verdickungen als Auflagerungsschicht sichtbar; durch hinzufliessende Schwefelsäure färben sich sodann die primäre und tertiäre Membran blau, die secundären Schleimauflagerungsschichten werden körnig und gelb. Die tertiäre sich blau färbende Membran quillt bei Einwirkung dieses Reagens zu einer ziemlichen Breite auf.

Die Cotyledonarzellen enthalten Aleuronkörner und Fett, jedoch keine Stärke.

Astragalus.

Das Endosperm der drei von mir untersuchten Species, nämlich A. falcatus, Cicer und galegiformis boten derartig gleichmässige anatomische Verhältnisse, dass sie einer Einzelbeschreibung nicht bedürfen. Sie schliessen sich eng an Trigonella an. Die durchschnittliche Grösse der Endosperme betrug bei allen drei Samen an der dicksten Stelle und in Wasser gemessen circa 120 Mikr., das $2^1/_2$- bis 3fache der Testa. Die äusserste Schicht des Endosperms bildet eine Reihe sogenannter Kleberzellen, deren schwach verdickte, Fett und Proteïnsubstanzen führende Zellen im Verhältniss zu den mächtigen Schleimendospermzellen sehr klein erscheinen.

Das Schleimendosperm besteht aus nur wenigen Reihen regelmässiger, radial gestreckter Zellen und schliesst, wie gewöhnlich, mit einigen collabirten Zellreihen nach Innen zu ab. Die Zellen des mittleren Theiles des Schleimendosperms zeichnen sich durch ihre Grösse aus und erreichen einzelne derselben über 120 Mikr. Behandelt man Querschnitte durch die Endosperme mit Jodschwefelsäure, so wird der in Form secundärer Verdickungsschichten angelegte Schleim körnig und färbt sich gelb. Nach einiger Einwirkung geht diese Färbung ins Bräunliche über und ist besonders dieses Stadium geeignet, um die secundären Verdickungen als parallel laufende Schichten zu erkennen. Die primäre Membran wird erst später gebläut, ist jedoch wegen der dann eingetretenen Dunkelbraunfärbung des ganzen Endospermgewebes schwer als blau gefärbt festzustellen.

Die Cotyledonarzellen sind stärkefrei und enthalten nur Aleuronkörner und fettes Oel.

Trifolium pratense.

Der Same von Trifolium pratense lehnt sich nicht nur im Bau des Endosperms, sondern auch im Bau der Testa sehr eng an Trigonella an. Die an der Spitze abgeplatteten Palissadenzellen der Testa sind von einer Cuticula bedeckt und erreichen 40—45 Mikr. Höhe, 8—10 Mikr. Breite. — 10 Mikr. von der Cuticula entfernt läuft die Lichtlinie quer durch die Palissadenzellen. Im Lumen der Palissadenzellen bemerkt man vielfach kleine Körnchen, die sich durch Eisenchlorid, ebenso wie der Gesammtinhalt des Lumens färben; es sind dieses Plasmakörnchen, die mit Gerbstofflösung imprägnirt sind. Nebenbei sind noch öfters grössere Chlorophyllkörner vorhanden. Das Endosperm beginnt mit einer Reihe quadratischer Kleberzellen, an die sich das eigentliche Schleimendosperm anschliesst. Dieses ist 100—110 Mikr. gross und ist doppelt so dick als die Testa. Die ziemlich grossen Zellen des Schleimendosperms sind gleichmässig verdickt und lassen das Lumen nur noch als schmalen Streifen erkennen. Behandelt man das Schleimendosperm mit Alkohol oder Glycerin, so schrumpft dasselbe ein wenig zusammen, und es tritt eine körnige Fällung des Schleimes der secundären Schleimmembran ein, welche auf Zusatz von Wasser jedoch wieder zum grössten Theil verschwindet.

Jodschwefelsäure färbt die secundären Auflagerungsschichten unter körniger Fällung gelb bis braun, während bei der primären Membran, die stark von Schleim infiltrirt ist, erst nach vorheriger Entfernung des Schleimes durch verdünnte Kalilauge die Cellulosereaction eintrat. Abgeschlossen nach Innen wird das Endosperm durch wenige Reihen comprimirter Zellen.

Die Cotyledonen enthalten neben Aleuronkörnern viel zerstreut liegende Stärkekörnchen; Fett ist nur in geringerer Menge vorhanden.

Melilotus.

Aehnliche Verhältnisse, wie bei dem vorher beschriebenen Kleesamen finden wir bei Melilotus officinalis. Die Palissadenzellen der Testa sind an der Spitze abgerundet. Ihre Höhe beträgt 42 bis 48 Mikr., ihre Breite 5—6 Mikr. Ungefähr in der Mitte der Palissadenzellen befindet sich die sie quer durchziehende Lichtlinie. Im Lumen der Zellen liegen auch hier mit Gerbstoff imprägnirte Plasmakörn-

chen, untermischt mit Resten von Chlorophyllkörnern. Bei den darauf folgenden Trägerzellen fallen, am Querschnitt betrachtet, die am meisten seitlich gelegenen Verdickungsleisten der einzelnen Zellen wegen ihrer besonderen Breite stark ins Auge. Das Endosperm selbst ist 150—170 Mikr. breit, die Testa 90—100 Mikr., so dass es kaum die doppelte Grösse hiervon beträgt. Den am meisten nach aussen liegenden Theil bildet eine einreihige Kleberzellschicht, deren quadratische, verdickte Zellen im Inhalte Proteinstoffe und Fett enthalten. Hieran stösst unmittelbar das eigentliche Schleimendosperm, welches grosse, stark gequollene, farblose Zellen besitzt, deren Wandungen durch secundäre Auflagerungen gallertig verdickt sind, während der Abschluss des Schleimendosperms nach Innen wiederum durch eine collabirte Zellschicht gebildet wird. Legt man einen Querschnitt in Alkohol, so schrumpft das Schleimendosperm unter Fällung des Schleimes zu einem undeutlichen Gerinsel zusammen. Durch reines Glycerin wird das Endosperm vollständig contrahirt, quillt jedoch auf Zusatz von Wasser wiederum zur ursprünglichen Gestalt auf. Bei Behandlung mit Chlorzinkjod tritt eine derartige Verquellung ein, dass die primäre Membran fast verschwindet. Das Endosperm ist bei Einwirkung von Jodlösung farblos; lässt man jedoch Schwefelsäure hinzufliessen, so färben sich unter körniger Fällung die secundären Verdickungen gelb, und es tritt in ihnen eine schwache Schichtung hervor. Die primäre Membran dagegen nimmt erst nach sehr langer Einwirkung die Blaufärbung an.

Legt man das Präparat in Glycerin und Wasser, so verliert die primäre Membran an Deutlichkeit, die secundären Membranen werden körnig, und die Schichtung wird nur schwach deutlich. Die Schichten begrenzen in ähnlicher Weise das enge, kaum sichtbare Lumen, wie bei der Jodschwefelsäurebehandlung. Die Zellen der Cotyledonen sind mit Eiweiss erfüllt, nebenbei enthalten sie viel isolirt liegende Stärkekörner und fettes Oel.

Bei Melilotus indicus, dessen Same ein stark entwickeltes Endosperm besitzt, tritt auf Zusatz von Schwefelsäure zu dem in Jod liegenden Präparate die Schichtung der secundären Schleimmembranen auf's Deutlichste hervor.

Genista paniculata und tinctoria.

Die Palissadenzellen der Testa beider Samen enthalten in der Membran einen schönen grünen Farbstoff[1]) und werden nahe der Spitze der Zellen von einer Lichtlinie durchzogen. Das Endosperm ist hornartig und zeigt das Lupenbild seine stärkste Entwickelung zwischen der Radicula und den Cotyledonen, während an der Spitze der Cotyledonen kaum eine Spur von Endosperm sichtbar ist. Die in Wasser vorgenommene Messung ergiebt bei G. paniculata als Dicke der Testa 100 Mikr., als Dicke des Endosperms 330—340 Mikr.; in der Nähe der Radicula beträgt bei G. tinctoria die Breite des Endosperms nur 120 Mikr., die Breite der Testa 85—88 Mikr., wovon die Palissadenschicht 60 Mikr. in Anspruch nimmt. Eine sehr deutliche Abgrenzung der sogenannten Kleberschicht vom eigentlichen Schleimendosperm ist hier nicht vorhanden, und schliesst sich im Allgemeinen das Endosperm an Tetragonolobus purpureus an. Die sogenannten Kleberzellen enthalten Fett und Proteinsubstanzen. Die Zellen des eigentlichen Schleimendosperms, bei denen ausser der Intercellularsubstanz auch deutlich die äussere Lamelle[2]) zu sehen ist, haben ein grosses sternförmiges Lumen, welches mit Fett und Proteinsubstanzen erfüllt, von einer tertiären Membran begrenzt ist. Die Lumenstrahlen laufen gewöhnlich auf die der benachbarten Zellen zu und werden von diesen nur durch die primäre Membran getrennt. Zwischen der primären und tertiären Membran liegt die Schleimschicht als secundäre Membran. Bei Behandlung eines Schnittes mit Anilinblau werden die im Schleimendosperm vorhandenen Proteinstoffe blau gefärbt, und es wird in den secundären Membranauflagerungen die Schichtung deutlich sichtbar. Jodlösung, sowohl alkoholische, als auch wässerige, färben nur den Inhalt der Zellen gelb, nicht die Schleimmembran. Lässt man jedoch Schwefelsäure hinzufliessen, so tritt sofort unter starker Aufquellung eine intensive Blaufärbung der tertiären Membran, des Grenzhäutchens ein, während die Blaufärbung der primären Membran erst später

---

1) Schleiden fand den Farbstoff ebenfalls in der Membran bei: Genista candicans, G. canariensis und germanica und bezeichnete denselben als seladongrün.

2) Vergl. Fig. 23 und Tafelerklärung hierzu.

vor sich geht. Die secundären Verdickungen schimmern unter sehr schwacher Gelbfärbung ebenfalls als Schichten hervor. In Folge des starken Aufquellens des Grenzhäutchens schlüpft bei der Jodschwefelsäurebehandlung gewöhnlich der nun braun gefärbte Inhalt des Lumens der Schleimzellen als zusammenhängende Masse aus demselben heraus. — Das Gewebe der Cotyledonen ist dünnwandig und deren Zellen stärkefrei, reich jedoch an Proteinsubstanzen und Fett.

Ulex europaeus.

Die 35—38 Mikr. breite Testa besitzt einen smaragdgrünen Farbstoff in der Membran der Palissadenzellen. Das Endosperm ist wohl entwickelt, ähnelt dem vorher beschriebenen von Genista sehr und schliesst sich daher auch in seinem Bau an Tetragonolobus an, indem seine Zellen ein grosses, mit Proteinsubstanzen und Fett angefülltes Lumen besitzen. Es ist das Schleimendosperm 2—3 Mal so gross, als die Testa und erreicht bisweilen sogar eine Breite von 130 Mikr. Die von der tertiären Membran begrenzten sternförmigen Strahlen der Lumina laufen auf die der benachbarten Zellen zu. Wird auf die secundären Schleimmembranen Jodschwefelsäure gebracht, so tritt ebenfalls eine schwach körnige Fällung und Gelbfärbung des Schleimes ein. Die Cotyledonarzellen haben als Inhalt nur Aleuronkörner und fettes Oel, Stärkekörner sind dagegen nicht vorhanden.

Medicago.

Die Schleimendosperme von Medicago hispida var. arabica, M. sativa und turbinata entsprechen in ihrem anatomischen Bau denen von Trigonella faenum Graecum. Zu äusserst derselben liegt eine einreihige Schicht sogenannter Kleberzellen, mit Proteinsubstanzen und Fett im Inhalt, dann folgt das eigentliche Schleimendosperm. In diesem finden wir radial gestreckte Zellen von ziemlicher Grösse, an deren primäre Membran die secundären Verdickungen sich in Form von Schleim anlagern. Das Lumen ist nur noch als ganz schmaler Spalt vorhanden. Abgeschlossen wird das Endosperm durch eine Lage zusammengedrückter Zellen. Der Zusatz von Glycerin zu einem in Wasser befindlichen Schleimendospermpräparat bewirkt ein Zusammenschrumpfen desselben und Fällung des Schleimes als

körnige Masse, ohne dass die Schichtung deutlich sichtbar wird. Jodschwefelsäure fällt den Schleim ebenfalls körnig und färbt ihn gelb bis braun.

Am stärksten entwickelt ist von diesen drei Medicagoarten das Schleimendosperm bei Medicago hispida. Es ist in Wasser gemessen 170—180 Mikr. breit, nimmt also die dreifache Dicke der Testa ein, welche nur 50—55 Mikr. misst. Die Palissadenzellen dieses Samens sind 28—32 Mikr. hoch, 6—8 Mikr. breit.

Bei M. sativa ist das Schleimendosperm ebenfalls stark, doppelt so gross wie die Testa. Es beträgt seine Dicke 100 Mikr, die Stärke der Testa 50—55 Mikr., wovon die Palissadenzellen 36 bis 38 Mikr. einnehmen. — Weniger stark ist das Endosperm bei M. turbinata. Es sind ausser der Kleberschicht nur 2—3 Reihen grosser Schleimendospermzellen vorhanden, worauf dasselbe von einer schwachen collabirten Schicht nach Innen zu abgeschlossen wird.

In den Cotyledonarzellen finden sich vielfach Stärkekörnchen, ausserdem habe ich noch Aleuronkörner und Fett darin beobachten können.

Lotus hispidus.

Das Endosperm ist, trotzdem der Same äusserst klein ist, dennoch deutlich als hornartige Schicht mit blossem Auge zu erkennen. Es ist $4^1/_2$ Mal so breit als die Testa und beträgt seine Dicke in Wasser 270 Mikr., die der Testa nur 60 Mikr. Die Kleberzellschicht ist einreihig ausgebildet und enthält Proteinsubstanzen und Fett; hieran schliesst sich das eigentliche Schleimendosperm an. In den der Kleberzellreihe zunächst gelegenen, radial gestreckten Zellen findet man noch einzelne derselben ziemlich plasmareich. Die nächsten Reihen bestehen bereits aus farblosen schleimführenden, radial gestreckten Zellen von gleichmässiger Verdickung.

Zu innerst liegt eine collabirte Schicht. Bei einem Querschnitt durch das Endosperm, in Jodjodkalilösung und Glycerin betrachtet, wird in den Zellen die Schichtung in der secundären Schleimmembran unter körniger Fällung schwach sichtbar. Ebenso tritt eine körnige Fällung bei Behandlung mit Jodschwefelsäure ein, unter gleichzeitiger Gelb- bis Braunfärbung der secundären Membranen; die primäre Membran zeigt die blaue Cellulosereaction.

Die Cotyledonarzellen enthalten zwischen den ziemlich reichlich vorhandenen Aleuronkörnern zerstreut liegend fettes Oel und Stärkekörnchen.

Indigofera tinctoria und hirsuta.

Beide Samen besitzen ein hartes, fünf Mal so grosses Schleimendosperm, als die Testa, welches in seinen anatomischen Verhältnissen sich an Tetragonolobus anlehnt. Die stärkere weisse Färbung, welche dem Endosperm dieser Samen und noch einer ganzen Reihe anderer, wie z. B. Ulex, Spartium eigen ist, hängt nach Schleiden damit[1]) zusammen, „dass der Schleiminhalt der Zellen über die Zellmembran und ihre gallertige Verdickung überwiegend hervortritt.“ Die Kleberzellschicht, mit der das Endosperm beginnt, besteht aus einer Reihe regelmässiger, dickwandiger Zellen, die Proteïnsubstanzen und Fett im Inhalt haben. Auch die sich hieran anschliessenden Zellen des eigentlichen Schleimendosperms sind sehr unregelmässig verdickt und ist ihr Lumen noch derartig mächtig erhalten, dass es fast den grössten Theil der Zelle einnimmt. Seine Form ist meist kreisrund, bisweilen länglich, in einzelnen Fällen auch sternförmig. Umgrenzt ist das mit Fett und Proteinsubstanzen ebenfalls erfüllte Lumen von einer tertiären Membran, die bei Behandlung eines Schnittes mit Jodschwefelsäure sehr breit aufquillt und als erste sich blau färbt, also aus reiner Cellulose besteht. Ein wenig später tritt auch bei der primären Membran die Blaufärbung ein, während in den zwischen beiden liegenden Verdickungsschichten der Schleim schwach körnig und gelb gefärbt wird. Die Schichten werden in letztgenannter Membran besonders gut sichtbar im Beginne der Reaction bei Behandlung eines Schnittes mit Jodschwefelsäure.

Die Cotyledonen beider Samen sind stärkefrei und führen nur Aleuron und Fett im Inhalt ihrer Zellen.

Hippocrepis unisiliquosa.

Ein ziemlich bedeutendes Schleimendosperm besitzt der Same von Hippocrepis, wie der Querschnitt, mit der Lupe betrachtet, es

1) Schleiden l. c. p. 21.

gar nicht erwarten lässt. In Wasser quillt es sehr stark auf, so dass es 230—240 Mikr. gross wird. Die Messung der Testa ergab nur 65—70 Mikr., so dass das Endosperm dieselbe um das $3^1/_2$ fache ihrer Grösse übertraf. Die einreihige, dickwandige „Kleberschicht“ enthält Proteinsubstanzen und Fett. Die Zellen des Schleimendosperms sind ziemlich lang gestreckt und ihre Wandungen gleichmässig verdickt. Aus angeschnittenen Zellen sieht man stellenweise den Schleim körnig herausquellen.

Derselbe ist in der Verdickungsschicht der Zellen als secundäre Membran vorhanden, und ist derartig stark, dass vom Lumen nur noch ein sehr schmaler Spalt vorhanden ist. Bei einzelnen Zellen des Schleimendosperms ist infolge der starken Verquellung in Wasser bereits schwach eine Schichtung in den secundären Schleimmembranen zu beobachten. Recht deutlich tritt dieselbe ein bei Einwirkung von Jodschwefelsäure auf das Schleimendosperm. Dieses Reagens bewirkt zugleich eine intensive Gelbfärbung und körnige Fällung der secundären Membran, während in der primären Membran eine Bläuung erst nach einiger Zeit stattfindet.

Die Zellen der Cotyledonen haben in ihrem Inhalt vorzugsweise Aleuronkörner neben fettem Oel.

Sarothamnus scoparius.
(Spartium scoparium.)

Es besitzt der Same ein sich eng an Tetragonolobus anschliessendes Schleimendosperm, welches $2^1/_2$mal so breit, als die 36 Mikr. dicke Testa ist. Die erste Reihe des Endosperms bildet die sogenannte Kleberschicht, deren Zellen Proteinsubstanzen und Fett als Inhalt besitzen. Die Zellen des Schleimendosperms haben in ihrem ziemlich bedeutenden Lumen, welches von der tertiären Membran begrenzt ist, ebenfalls Proteinsubstanzen und Fett. Jodlösung färbt den Inhalt des Lumen gelb, während die primäre Membran und die sich daran anschliessenden secundären Membranverdickungen, der Schleim ungefärbt bleibt. Lässt man jedoch Schwefelsäure hinzufliessen, so dass beide Reagentien gleichzeitig einwirken, so färbt sich zuerst unter starkem Aufquellen die tertiäre Membran blau, sodann nimmt auch die primäre Membran eine Bläuung an, während die secundären Verdickungen körnig gefällt und gefärbt werden.

Die Zellen der Cotyledonen enthalten Aleuron und Fett, sind jedoch frei von Stärke.

Colutea.

Die beiden untersuchten Species, C. orientalis und C. arborescens, besitzen ein ziemlich hartes, hornartiges und bedeutendes Endosperm. Bei ersterem Samen erreicht es die 4fache Grösse der Testa, bei letzterem ist es $2^1/_2$—3mal so breit als dieselbe. Die Testa selbst ist durchschnittlich 60 Mikr. dick. Die Verschleimung ist in beiden Fällen eine vollständig gleichmässige. Die äussere Begrenzung des Endosperms ist eine einreihige Kleberzellschicht, deren quadratische, verdickte Zellen Proteinsubstanzen und Fett als Inhalt haben.

Der Haupttheil des Endosperms, das eigentliche Schleimendosperm besteht aus grossen, radial gestreckten Zellen, an deren primäre Membran die secundären sich als Schleimverdickungen anschliessen. Die Verdickung erreicht eine derartige Ausdehnung, dass das Lumen zum grössten Theil verdrängt, nur noch als feiner Spalt zurückgeblieben ist. — Bei Behandlung eines Querschnittes mit Jodschwefelsäure wird der Schleim der secundären Membran körnig gefällt, und es treten unter Gelbfärbung die Schichtungen, unter einander parallel laufend, deutlich hervor; die primäre Membran dagegen zeigt durch Bläuung ihre Cellulosenatur. Auch bei Zusatz von Glycerin zu einem in Wasser liegenden Präparate fallen die secundären Membranen bereits als schwach körnige Schichten ins Auge.

Die Cotyledonarzellen beider Samen enthalten als Zellinhalt Aleuronkörner und fettes Oel.

Amorpha glabra.

Das sehr harte, hornartige, mit blossem Auge schon als dicke Schicht sichtbare Endosperm nimmt einen grossen Theil des Samens für sich in Anspruch. Es ist $2^1/_2$—3mal so gross, als die Testa, und hat eine Breite von 96—100 Mikr. Eine Reihe Kleberzellen bilden nach aussen hin den ersten Theil des Endosperms, und schliessen sich an dieselbe drei bis vier Zellreihen des eigentlichen Schleimendosperms an, die denen von Tetragonolobus ähnlich gebaut sind. Die ersteren sind quadratisch, haben schwach verdickte Cellulosewandungen und enthalten als Inhalt Proteinsubstanzen und Fett. Der erste

Theil des Schleimendosperms besteht aus Zellen mit grossem sternförmigen Lumen, welches Fett und Proteinsubstanzen führt, und ist die tertiäre Membran als innerste an das Lumen grenzende Schicht ausgebildet.

Hieran schliessen sich einige Reihen von Zellen an, die langgestreckt sind, und bei denen infolge sehr starker Auflagerung des Schleimes als secundäre Membran das Lumen fast gar nicht mehr zu erkennen ist. Nur ein schmaler Spalt schimmert noch schwach hindurch. Jodschwefelsäure bringt auch hier die bereits vielfach erwähnte Reaction hervor, die Blaufärbung der primären und tertiären Membran und die Gelbfärbung des Schleimes in den secundären Membranen unter körniger Fällung.

Die stärkefreien Cotyledonarzellen enthalten Aleuronkörner und Fett.

Crotallaria verrucosa.

Das hornartige Endosperm von Crotallaria ist $4^{1}/_{2}$ mal so gross als die Testa und sehr hart. Die durchschnittliche Breite der Testa beträgt in Wasser gemessen 55 Mikr. Auf die kleinzellige, aus meist quadratischen Zellen gebaute Kleberzellreihe, deren Inhalt Fett und Proteinsubstanzen sind, folgt das grosse Schleimendosperm. Die Zellen desselben sind radial gestreckt und besitzen ein noch deutlich vorhandenes, mit Plasmaresten erfülltes, meist längliches Lumen, an welches die secundäre Membran in Form von parallelen Schleimschichten grenzt. Bei diesem Samen treten die Schichten ganz besonders deutlich auf, so dass sie selbst in Wasser schon als feinkörnige Masse sichtbar sind. — Setzt man zu einem in wässeriger Jodlösung liegenden Präparate Schwefelsäure hinzu, so tritt eine körnige Fällung des Gesammtinhaltes unter Gelbfärbung ein, und es treten noch deutlicher die schön gelb gefärbten secundären Verdickungsschichten hervor. Die mit Schleim infiltrirte primäre Membran färbt sich anfangs durch Jodschwefelsäure ebenfalls gelb, nach Lösung des Schleimes tritt jedoch die blaue Cellulosereaction ein, noch schneller und intensiver nach vorheriger Behandlung mit verdünnter Kalilauge.

Als Inhalt der Cotyledonarzellen ist Aleuron und Fett vorhanden; Stärke fehlt dagegen vollständig.

Trigonella faenum Graecum.

Der Same von Trigonella ist, wie bereits erwähnt, als Typus für eine ganze Reihe von Samen mit anatomisch gleichen Endospermen von mir hingestellt worden, weshalb ich ihn einer genaueren Beschreibung unterwerfen will. In Tschirch's [1]) eben erschienenem Werke sind Zeichnungen des Quer- und Längsschnittes durch die Testa und das Endosperm des Samens aufgenommen worden, weshalb ich es für genügend erachte, auf jene Ausführung hinzuweisen. Besonders zeigt der Querschnitt die auch von mir betrachteten Verhältnisse in recht klarer Weise. Die Samenschale besteht aus den mit einer Cuticula [2]) (c) bedeckten Palissadenzellen (p), auf welche eine Schicht Trägerzellen oder Stützzellen (s) folgt, welche von Harz in seiner Landwirthschaftlichen Samenkunde wenig zutreffend Sanduhrzellen genannt wurden. Den Schluss der Testa und zugleich die Begrenzung gegen das Endosperm bildet ein mehrreihiges, dickwandiges parenchymatisches Gewebe (pr) und eine dasselbe abschliessende collabirte Zellschicht (co). Hieran schliesst sich das grosse Endosperm an, welches aus der Kleber(öl)schicht (k) und dem eigentlichen Schleimendosperm besteht, und die beiden Cotyledonen umgiebt. Bei den Palissadenzellen findet man öfters Gruppen (gr) d. h. 3—5 zusammenhängende Zellen. Eine Lichtlinie (li) durchzieht quer die ganze Palissadenzellreihe, deren Zellen ein noch sichtbares, langgestrecktes Lumen besitzen, welches von aussen nach innen zu breiter wird. In dem breiteren Theile desselben bemerkt man lose liegende Körnchen in grosser Anzahl, welche bei längerer Behandlung mit Eisenchlorid die Gerbstoffreaction zeigen, wie auch die im Lumen vorhandene homogene Masse. Diese Körnchen sind Plasmareste, die mit Gerbstofflösung imprägnirt waren, und welche eingetrocknet ihnen die Gerbstoffreaction verleihen. An Samen von 5 mm Länge und 25 mm Breite betrug die Höhe der Palissadenzellen 70—80 Mikr., deren Breite 12—14 Mikr. In den Trägerzellen, die mit Verdickungsleisten

---

1) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie.

2) Die Buchstaben beziehen sich auf die von Tschirch dem Holzschnitt 192 beigegebenen Erklärungen.

versehen sind, findet man noch vielfach Reste von Chlorophyllkörnchen.

Das Schleimendosperm ist mächtig entwickelt und von sehr harter, hornartiger Consistenz. Die durchschnittliche Messung an den dicksten Stellen der Testa und des Schleimendosperms in Wasser ergab bei ersterer 170 Mikr., bei dem Endosperm 680—720 Mikr., also die 4—$4^1/_2$fache Grösse der gesammten Testa. Die Kleber(öl)-schicht besteht aus einer Reihe kubischer, dickwandiger Zellen, die kleinere Aleuronkörner und Fett in ihrem Inhalt aufgespeichert haben. Das eigentliche Schleimendosperm, welches als schleimführendes Albumen von Godfrin[1]) schon erwähnt wurde, besteht aus vielen Reihen grosser radial gestreckter Zellen und einer Schicht breit gedrückter Zellen, die eine Begrenzung gegen die Cotyledonen hin bilden. Diese Schleimendospermzellen bestehen aus einer primären und secundären Membran und haben ein schmales, langgestrecktes Lumen, welches in den meisten Zellen noch sichtbar ist und besonders bei Anwendung von Reagentien erst deutlich hervortritt.

Der Ansicht Godfrins, dass vom Lumen keine Spur mehr vorhanden, muss ich daher durchaus widersprechen. Zwischen der primären Membran und dem Lumen ist die ganze Zelle von einer hellen, durchsichtigen Schleimmasse als secundäre Membranverdickung erfüllt. Legt man einen Querschnitt des Samens in Wasser, so quellen die Schleimendospermzellen stark auf. Lässt man zu diesem Präparate allmählich Glycerin hinzufliessen, so wird bei längerer Einwirkung desselben der Schleim körnig gefällt, und es wird die Schichtung deutlich, um dann noch klarer zu erscheinen, sobald man das Präparat statt in Wasser in Jodjodkaliumlösung legt. Diese Schichtung, wie sie die von Tschirch ausgeführte Zeichnung und Fig. 15 meiner Tafel zeigt, besteht aus den sich um den Rand des Lumen anordnenden, parallellaufenden secundären Schleimmembranen. — Legt man ein Präparat in Alkohol, so tritt ebenfalls eine körnige Fällung des Schleimes ein, das Schleimendosperm wird contrahirt, und das ganze Endosperm ist in ein Gerinsel verwandelt, oder wie Godfrin[2]) sagt, in „eine hyaline Masse". — In wenig Wasser gelegt,

1) Godfrin, l. c.
2) Godfrin, l. c.

sieht man an den etwas dickeren Stellen des Schnittes schwach die Schichtungen, d. h. die Verdickungsmembranen durchschimmern, während sie an den dünnen Stellen vollständig fehlen. Bringt man das Präparat in wässerige Jodlösung und lässt Schwefelsäure hinzutreten, so werden bei eintretender Reaction in den meisten Zellen die Schichtungen sehr deutlich; der Schleim wird körnig gefällt und gelb bis braun gefärbt. Die primäre Membran zeigt infolge zu starker Infiltration des Schleimes nur an wenigen Stellen eine schwache Bläuung, die Cellulosereaction.

Nachdem jedoch durch geringes Erwärmen mit verdünnter Kalilauge die Schleiminfiltration aus der primären Membran entfernt ist, zeigt sich in derselben auf Behandlung mit Jodschwefelsäure die Cellulosereaction schon nach sehr kurzer Zeit. — Jodlösung brachte in den Schleimmembranen keine Reaction, ebenso wenig Chlorzinkjod. An denjenigen Stellen, an denen die Schichtung schon in Wasser wahrnehmbar, ist die primäre Membran in Folge der starken Verschleimung undeutlich. — Bei längerem Liegenlassen des Präparates in Wasser verschwindet die primäre Membran immer mehr und mehr, sie verquillt. Ebenso verquillt sie bei Behandlung mit Salpetersäure, Chromsäure, Salzsäure und Schwefelsäure, ohne dass die Innenschichten sich zeigen. Kalilauge bewirkt ein Aufquellen der primären Membran, lässt sie jedoch deutlich sichtbar, während von der Schichtung Nichts wahrzunehmen ist.

Die Cotyledonarzellen sind mit Aleuronkörnern und Fett erfüllt. Es findet sich aber nebenbei viel Stärke, welche schon durch einfache Jodreaction sichtbar wird, und nach vorheriger, successiver Behandlung mit Kalilauge und Essigsäure noch deutlicher hervortritt. Auffallender Weise ist in den bereits citirten Werken von Tichomiroff, Godfrin und Harz Trigonella als stärkefrei aufgeführt, während in den Cotyledonarzellen dieselbe in derartigen Mengen auftritt, dass sie unmöglich einer einigermassen genauen Betrachtung entgehen konnte.

Tetragonolobus purpureus.

Obwohl bereits von Schleiden und Vogel in ihrer Arbeit „Ueber das Albumen, insbesondere der Leguminosen“[1]) der Same von Tetra-

1) Schleiden u. Vogel, l. c. Taf. XLII, Fig. 38—45 u. Taf. XLIII, Fig. 60.

gonolobus beschrieben worden, habe ich mich dennoch entschlossen, von demselben eine genaue Darstellung zu geben, weil erstens einzelne Unrichtigkeiten der Schleiden'schen Arbeit zu berichtigen sind, zweitens, weil in derselben mehr auf die Entstehung des Albumens Rücksicht genommen, und drittens, weil ich in diesem Samen, seines mächtigen und von Trigonella abweichenden Endosperms wegen, einen Typus für eine zweite Reihe von Endospermen gefunden habe. Wie Fig. 19 zeigt, hat die Testa dieselben Theile wie Trigonella, nur dass zwischen Palissadenzellen und Stützzellen noch eine Reihe kleiner, schwach verdickter Zellen sich befindet. Die Stützzellen (s) zeigen auch eine von Trigonella ganz abweichende Form. Das Endosperm ist äusserst hart, hornartig und nimmt einen sehr grossen Theil des Samens für sich in Anspruch. Es ist 1450 bis 1500 Mikr. gross, während die Breite der Testa nur 270 Mikr. an der stärksten Stelle beträgt. Hiernach ist das Endosperm circa 5 Mal so gross als die Testa. Lässt man den Samen nur einige Zeit in Wasser liegen, so quillt derselbe mächtig auf und das Schleimendosperm wird zur Gallerte. Eine von Neuem vorgenommene Messung zeigt nun die Dicke des Schleimendosperms auf ungefähr 2000 Mikr. angequollen. Den äusseren Theil des Endosperms bildet die einreihige, sogenannte Kleberschicht (kl), deren Zellen Proteïnsubstanzen und Fett enthalten. Die sich hieran anschliessenden mächtigen Zellen des Schleimendosperms lassen ausser der äussersten Begrenzung der Zellen, ausser der primären Membran oder Intercellularsubstanz noch äussere Lamellen deutlich erkennen, wodurch sie sich wesentlich von den Trigonella und ihm ähnlich gebauten Samen unterscheiden. Ferner sind bereits in Wasser die secundären Membranen oder Verdickungsschichten und die tertiäre Membran sichtbar. — Einen anderen Unterschied habe ich darin gefunden, dass die Verdickung hier keine so gleichmässig weitgehende ist, als sie Trigonella zeigt. Vorzüglich haben die der Kleberschicht am meisten benachbarten Zellreihen des Schleimendosperms (schl) ein recht grosses, mit Aleuronkörnern und Fett angefülltes Lumen, welches von der tertiären Membran begrenzt ist. — Je weiter man sich den Cotyledonen nähert, desto gleichmässiger wird die Verdickung, das Fett und Proteïnsubstanzen führende Lumen wird kleiner und verschwindet schliesslich ganz in der das Endosperm

abschliessenden, breitgedrückten, collabirten Zellschicht. Die Ausbuchtungen der Lumina der einzelnen Zellen laufen vielfach auf die der Nachbarzellen zu und werden von diesen nur durch die primäre Membran getrennt. Behandelt man einen Schnitt des Endosperms mit Jodlösung, so wird nur der Inhalt des Lumens gelb bis braungelb gefärbt. In der bereits öfter erwähnten Arbeit „Ueber das Albumen, insbesondere der Leguminosen“ [1]) wird die Vermuthung ausgesprochen, dass dieser mit Jodlösung sich gelb färbende Theil wohl der eigentliche Schleim und die ein wenig blass gefärbten Kügelchen wohl mit Inulin identisch seien. Ich vertrete dagegen die Ansicht, dass wir es hier nur mit Proteïnsubstanzen, Aleuronkörnchen und fettem Oel zu thun haben. Die Schichtung in den Zellen, die bereits in Wasser sichtbar ist, wird bei Behandlung mit Jodjodkaliumlösung und Glycerin noch bedeutend klarer, welch' letzteres eine körnige Fällung des Schleimes zugleich bewirkt. In den secundären Schleimmembranen ergab Jodschwefelsäure eine schwache Gelbfärbung, bei der primären und tertiären Membran eine Bläuung, die etwas schwächer bei den äusseren Lamellen sich zeigte.

Die Cotyledonen enthalten in ihren Zellen ziemlich viel Aleuronkörner zwischen Stärkekörnchen und Oeltröpfchen vertheilt.

Scorpiurus sulcata.

Einen sehr grossen Theil des Samens beansprucht das sofort in's Auge fallende, hornartige, äusserst harte und mächtige Schleimendosperm. Dasselbe ist 750 Mikr. gross und beträgt somit das Fünffache der Testa. Es ist vollständig ähnlich dem Endosperm von Trigonella gebaut, besteht wie dieses aus einer einreihigen Kleberschicht und dem eigentlichen Schleimendosperm, welches von einer Schicht breitgedrückter Zellen nach innen abgeschlossen wird. Die Kleberschicht enthält Proteïnsubstanzen und Fett. Die grossen, radial gestreckten Zellen des Schleimendosperms sind wasserhell und erfüllt die Schleimgallerte der secundären Membran die ganze Zelle derart, dass vom Lumen nur noch ein äusserst geringer Spalt zu bemerken ist.

1) Schleiden u. Vogel, l. c. p. 25 u. 26.

Jodschwefelsäure färbt die Schleimmembranen gelb und fällt sie zu einer feinkörnigen Masse.

Die stärkefreien Cotyledonen enthalten als Inhalt ihrer Zellen sehr grosse Aleuronkörner und Fett.

Cercis Siliquastrum.

Das Endosperm von Cercis erreicht die fünffache Grösse der Testa. Es ist 700 Mikr. gross, von hornartigem Aussehen, aber von etwas weicherer Consistenz. Es ist der Bau der Schleimendospermzellen denen von Tetragonolobus ähnlich, jedoch finde ich das Lumen nicht von derartiger Breite wie bei jenem, doch mehr langgestreckt. Dasselbe wird ebenfalls von einer tertiären Membran begrenzt und besitzt wie die einreihige sogenannte Kleberzellschicht Proteïnsubstanzen und Fett als Inhalt. Zwischen der primären Membran und dem Lumen liegen die secundären Schleimmembranen, die sich durch Jodschwefelsäure gelb färben und sodann als Schichten sichtbar werden.

Die Cotyledonarzellen sind stärkefrei und enthalten nur Aleuron und Fett.

Schizolobium excelsum.

Anatomische Beschreibung nebst Zeichnungen des Samens von Schizolobium sind bereits vorhanden [1]). Es haben mich jedoch die darin bemerkten Unrichtigkeiten veranlasst, noch einmal darauf näher einzugehen. Macht man einen Querschnitt durch den Samen, so zeigt uns das Lupenbild bereits fünf deutlich von einander differenzirte Theile. Die Mitte des Samens nehmen die gelblichen, schmalen Cotyledonen ein, an die sich auf jeder Seite derselben das eigentliche, glasartige, harte Schleimendosperm anlagert. Hieran stösst eine sehr bedeutende, dunkel erscheinende Schicht dickwandiger Zellen, welche durch eine schmalere Zone von hellerer Färbung fortgesetzt und schliesslich durch die epidermatische Schicht beschlossen wird. Von diesen fünf ausgeprägten Theilen sind es vorzüglich das Gewebe dickwandiger Zellen und das Schleimendosperm, welche

1) Schleiden und Vogel, l. c. Taf. XLIII, Fig. 53—55, Taf. XLIV, Fig. 65—67 und Fig. 75.

unsere Aufmerksamkeit näher in Anspruch nehmen, da diese sich besonders von den meisten anderen, bis jetzt anatomisch untersuchten Samen unterscheiden. Die äusserste Schicht des Samens bildet auch hier die Palissadenzellenreihe, deren Höhe 186 Mikr. beträgt und die von einer Lichtlinie durchzogen wird, die 120 Mikr. tief, also ziemlich genau zwischen dem zweiten und letzten Drittheil der Zellen liegt. In dem bereits citirten Werke von Schleiden ist unter Zeichnung 55 die Lichtlinie als bedeutend zu hoch liegend angegeben. — Hierauf folgen einige Zellreihen eines im Lupenbilde sich kennzeichnenden helleren Gewebes, welches aus Trägerzellen besteht, zwischen denen ziemlich grosse Intercellularräume liegen, wodurch das Gewebe ein schwammiges Aussehen erhält. Die Fortsetzung nach innen zu bildet eine sehr grosse, dickwandige, 30 bis 40 Zellreihen einnehmende Schicht, deren einzelne Zellen stark verdickt sind, jedoch noch ein verhältnissmässig grosses Lumen besitzen. Diese Wandverdickung zeigte durch angestellte Reactionen ihre reine Cellulosenatur, und bedauerte ich sehr, da mir kein keimungsfähiger Samen zu Gebote stand, das Verhalten dieser Wandverdickung neben dem Schleimendosperm bei der Keimung nicht beobachten zu können. Diese dickwandige Schicht wurde von dem sehr stark entwickelten Schleimendosperm noch durch eine Reihe, den Trägerzellen ähnlich gebauter Elemente getrennt. Obwohl das Schleimendosperm sehr stark entwickelt ist, erreicht es doch nicht ganz die Grösse der Testa, die durch das Gewebe dickwandiger Zellen von ganz besonderer Ausdehnung geworden. Es beträgt die Breite der Testa 770 Mikr., wovon allein auf die dickwandige Schicht 490—500 Mikr. entfallen. Das Schleimendosperm ist eine vollständig wasserhelle, glasartige Gallerte, welche durch Jodschwefelsäure körnig gefällt und gelb gefärbt wird. Dasselbe beginnt mit einer der Kleberschicht der Gramineen entsprechenden Zellreihe, deren Zellen ebenso wie die Lumina der übrigen Zellen des Schleimendosperms Proteïnsubstanzen und fettes Oel enthalten. An diese sogenannte Kleberschicht schliesst sich das eigentliche Schleimendosperm an, in dessen erstem Theile wenig zusammenhängend, meist vereinzelt liegend die Lumina der Endospermzellen von der tertiären Membran umgrenzt hervortreten, die in ihrem Innern noch vielfach Proteïnsubstanzen und Fett führen. Da es mir gelungen ist, wenn auch nur an wenigen Stellen, die

primäre Membran bei der Jodschwefelsäurereaction zum Vorschein zu bringen, so dienten mir diese Spuren doch als Beweis dafür, dass die nicht sichtbaren primären Membranen nachträglich verschleimen und in die Gallerte hineingezogen werden, ferner als Beweis dafür, dass die zottigen Gebilde nicht, wie Schleiden meint, Zellen seien, sondern die von der tertiären Membran umgrenzten Lumina. Diese Theilchen der primären Membran wie die tertiäre Membran wurden nach längerer Einwirkung von Jodschwefelsäure, also nach theilweiser Zerstörung der Gallerte, blau gefärbt und somit als reine Cellulose charakterisirt. Am stärksten zeigt sich die Schleimgallerte in der Mitte des Endosperms, wo dieselbe vollständig unorganisirt ist. Es ist dort eine Abgrenzungsschicht, selbst in Alkohol betrachtet, sichtbar, womit Schleiden das Endosperm bereits als abgeschlossen betrachtet hat. Dieses ist jedoch nicht der Fall, sondern die Gallerte hat daselbst eine derartige Stärke erreicht, dass selbst die Lumina mitverquollen sind, wodurch diese farblose Masse allerdings leicht zu diesem Irrthum Veranlassung geben kann. Da sich jedoch vereinzelt liegende Lumina noch zeigen, bin ich zu der Ansicht gelangt, dass an dieser farblosen Stelle die Verschleimung ihre höchste Stärke erreicht hat. Ein wenig mehr den Cotyledonen zu gelegen nimmt wiederum das Vorhandensein der Lumina innerhalb der Gallerte zu, um schliesslich in ein mehrreihiges Gewebe auszulaufen, dessen Zellen in der primären Membran sofort durch Jodschwefelsäure blau gefärbt wurden, während der Inhalt kaum eine Gelbfärbung annahm. Diese Zellen enthalten daher wenig Schleim und entsprechen wohl der collabirten Schicht der meisten vorher erwähnten Samen.

Die Cotyledonarzellen des Samens von Schizolobium führen keine Stärke, sondern nur Aleuronkörner und wenig Fett.

Gymnocladus canadensis.

Der Same zeigt ebenso, wie Schizolobium, quer durchschnitten genau und deutlich differenzirt seine verschiedenen Theile, und fällt auch hier besonders das grosse Gewebe dickwandiger Zellen und das glasartige Schleimendosperm stark in's Gewicht.

Bei der mikroskopischen Betrachtung des Samenquerschnittes findet man die 295—300 Mikr. langen Palissadenzellen von einer

Cuticula bedeckt und von einer 95 Mikr. tief liegenden Lichtlinie quer durchzogen. Hierauf folgt eine Trägerzellreihe von 33—35 Mikr. Länge, welche die Palissadenzellen von dem 870 Mikr. grossen Gewebe dickwandiger Zellen trennt. Die dicke Cellulosewandung dieser Zellen wird wahrscheinlich ebenfalls, wie ich es bereits vorher bei ähnlichen Fällen erwähnt, bei der Keimung dünnwandig und dient somit als Reservestoff. Beweisen konnte ich es auch hier ebenso wenig, wie vorher bei Schizolobium und anderen Samen, da mir zur Untersuchung kein keimfähiges Material zu Gebote stand. — Eine schwammartig aussehende Zellenreihe trennt schliesslich dieses Gewebe von dem Schleimendosperm, welches trotz seiner Mächtigkeit nur ungefähr die Breite der dicken Testa erreicht.

Das Schleimendosperm hat, unter dem Mikroskop betrachtet, ein vollständig glasartiges Aussehen und zeigt an seinen verschiedenen Stellen derartige Unregelmässigkeiten, dass man auch an demselben verschiedene Theile unterscheiden kann. Die Mitte des Endosperms betrug ohne die in der Mitte befindliche Gallerte, die ich ihrer Farblosigkeit wegen nicht zu messen im Stande war, gegen 1000 Mikr. Den am meisten nach aussen gelegenen Theil bildet ein 60—70 Mikr. breites Gewebe, dessen Zellmembranen wurmartig gewunden (Fig. 10, a) bis an die Kleberschicht (b) heranreichen; letztere ist einreihig. Die Fortsetzung nach innen ist eine mehr als 500 Mikr. dicke Schicht (c), in welcher man deutlich die von der tertiären Membran begrenzten Zelllumina bemerken kann. Mit der tertiären Membran parallel laufend, zeigen sich die secundären Verdickungsschichten. Vielfach sind noch im Lumen Plasmareste vorhanden. Die Verquellung ist in diesem Theil des Schleimendosperms derartig stark, dass auch in den einzelnen Zellen nachträglich die primäre Membran verschleimt, und in Folge dessen sie nur noch an wenigen Stellen und auch da nur theilweise sichtbar wurde (pr M). Hieran grenzt eine formlose Gallerte (g), die an den angeschnittenen Zellen den ausfliessenden Schleim in Faden und Körnerform hervortreten lässt, während von den Membranen und dem Lumen nicht die geringste Spur wahrzunehmen ist. Diese Gallerte wird schliesslich wasserhell, so dass es mir unmöglich war, speciell an diesem Theile eine Grössenmessung anzustellen. Hier ist der höchste Grad der Verschleimung erreicht und nimmt nun dieselbe an Intensität ab, je mehr sie sich den

Cotyledonen nähert. In der mit (e) bezeichneten 130 Mikr. dicken Schicht sieht man bereits wieder die Lumina der Zellen und deren tertiäre Membranen, stellenweise lassen sich auch schon die secundären Verdickungsschichten beobachten. Das Endosperm schliesst mit 6—8 Reihen regelmässig geformter Zellen (f) ab, und enthalten diese nur noch sehr wenig Schleim. Diese Zellreihen entsprechen wahrscheinlich der collabirten Schicht der früher beschriebenen Endosperme.

Wird ein Querschnitt durch das Schleimendosperm mit Jodschwefelsäure behandelt, so zeigt sich, dass bei Schicht a und f, dem Anfangs- und Schlussgewebe des Endosperms, die primären Membranen sofort blau gefärbt werden, also kaum Schleimspuren enthalten. Im übrigen Theile des Endosperms werden die secundären Verdickungsschichten und die formlose Gallerte gelb bis braun gefärbt; die nur an wenigen Stellen sichtbare primäre Membran bedarf ebenso wie die tertiäre Membran erst langer Einwirkung, um ihre Cellulosenatur zu bestätigen.

In den Cotyledonarzellen ist neben Aleuron und wenig fettem Oel die Menge der Stärkekörnchen eine ziemlich bedeutende. Es ist also bei diesem Samen eine ganz besonders reichliche Anhäufung von Kohlehydraten zu constatiren.

Gleditschia caspica (Fig. 20 und 21).

Eine Beschreibung und Zeichnung des Endosperms von Gled. triacantha haben schon Schleiden und Vogel[1]) vorgenommen. Es fehlte von den Zellen der Schleimendosperme jegliche Andeutung der primären Membran, und waren nur die Lumina und die tertiären Membranen zu sehen.

In Folge dieser Abweichungen von meinem Befunde sah ich mich veranlasst, aus Mangel an einem ganz reifen Samen von Gled. triacantha den ähnlich gebauten Samen von Gl. caspica noch einmal der genaueren Untersuchung werth zu halten.

Es ist dessen grauweisses Endosperm, in Wasser betrachtet, an der dicksten Stelle ungefähr 700 Mikr. gross, während die gesammte

1) Ueber das Albumen, insbesondere der Leguminosen, Taf. XLIII, Fig. 56 und 59.

Testa nur 430 Mikr. breit ist. Hiervon nimmt 220 Mikr. jene stark verdickte Schicht ein, die wir schon bei mehreren Samen der Caesalpiniaceen beobachtet haben.

Das Endosperm, Figur 22 Tafel XVIII, beginnt mit einem schmalen, wurmförmig gewundenen Gewebe (a), welches in die einreihige Kleberschicht (kl) übergeht. An diese schliessen sich eine bis mehrere Reihen kleinerer Zellen an, die ein ziemlich bedeutendes, mit Fett und Proteïnsubstanzen erfülltes Lumen besitzen. Begrenzt wird dasselbe von der tertiären Membran. Die primäre Membran ist hier meistens vorhanden und noch klarer bemerkt man die secundären Verdickungsschichten. In der Mitte des Endosperms sind die Lumina grösser, verästelt und ebenfalls von der tertiären Membran begrenzt. An dieselbe legt sich eine breite, körnige Schleimgallerte (schl g) unmittelbar an; hier sind von der primären Membran nur stellenweise Spuren sichtbar. Die tertiären Membranen, die die Lumina begrenzen, laufen mit ihren sich verzweigenden Strahlen derartig nahe aufeinander zu, dass der zwischen ihnen liegende Raum, infolge Fehlens der primären Membran, einem Intercellularraum ähnelt, wofür er auch von Schleiden gehalten wurde. Er ist in der That aber secundäre Membran, und sprechen dafür die stellenweise bei sehr scharfer Beobachtnug hervortretenden primären Membranen (pr M). Die Verquellung hat hier ihr höchstes Stadium erreicht und nimmt nun nach den Cotyledonen zu ab. Den Schluss des Endosperms bildet eine collabirte Schicht, deren Zellen durch den Einfluss des Wassers sich zu regelrechten Zellreihen gestreckt haben. Durch Reactionen mit Jodschwefelsäure wurden meine Beobachtungen bestätigt. Die vorhandene primäre Membran, auch wo dieselbe nur spurenweise vorkommt, wurde gleich der tertiären Membran nach längerer Einwirkung gebläut, die secundären Verdickungsschichten gelb gefärbt und körnig gefällt.

Die Zellen der Cotyledonen sind stärkefrei und enthalten nur Aleuron und Fett.

Parkinsonia aculeata.

Das Endosperm dieses Samens kann in Bezug auf die anatomischen Verhältnisse dem von Gymnocladus canad. auf's Genaueste an die Seite gestellt werden. Es ist 800 Mikr. dick, vier Mal

so breit als die gesammte Testa; das dickwandige Gewebe ist 130 Mikr. breit.

Vom Endosperm bildet den äussersten Theil die einreihige, mit Proteïnsubstanzen und Fett erfüllte Kleberschicht, die nach innen zu von dem mächtigen Schleimendosperm fortgesetzt wird, welches in der Mitte am stärksten verquollen ist. Von den Zellen des Schleimendosperms ist vielfach nur das Lumen mit der tertiären Membran sichtbar, an die sich die secundäre Membran in parallel mit derselben laufenden Verdickungsschichten anschliesst. — Da die primäre Membran nachträglich in die Verschleimung, in die Gallerte hineingezogen worden ist, tritt dieselbe nur stellenweise zum Vorschein und lässt sich dann am besten durch die Bläuung mit Jodschwefelsäure nachweisen.

Die Cotyledonarzellen enthalten keine Stärke, besitzen jedoch Aleuronkörner und Fett in ziemlich bedeutender Menge.

Cassia.

a) C. corymbosa.

Auch bei diesem Samen begegnet uns ein sehr grosses, hartes, hornartiges, im Querschnitt glasartig aussehendes Endosperm, welches im Allgemeinen Gymnocladus ähnlich gebildet ist. Das Endosperm ist sieben Mal so gross als die gesammte Testa und ist seine Verdickung eine ungleichmässige. Es beträgt, in Wasser gemessen, die Breite der Testa 43—45 Mikr., die Breite des Endosperms 265 bis 270 Mikr. Die äusserste Schicht des Endosperms bilden mehrere Reihen Kleberzellen, die mit Proteïnsubstanzen und Fett erfüllt sind, woran sich das grosse eigentliche Schleimendosperm anschliesst. Die Zellen besitzen ein grosses Lumen, welches von einer wohl ausgebildeten tertiären Membran begrenzt ist. In den meisten Zellen sind die secundären Verdickungsschichten sehr schön sichtbar, auch die primäre Membran ist überall zu sehen; letztere ist also nicht nachträglich, wie wir es bereits bei anderen Endospermen aus der Familie der Caesalpiniaceen beobachtet, in den Schleim hineingezogen. Die primäre und tertiäre Membran sind jedoch derartig vom Schleim infiltrirt, dass eine Cellulosereaction durch Jodschwefelsäure nicht unmittelbar zu erhalten war, sondern eine Behandlung

mit Kalilauge vorangehen musste. Es trat sodann nach langer Einwirkung der Jodschwefelsäure in den genannten Membranen die Blaufärbung ein, aber auch jetzt nur stellenweise. Der Schleim, die secundären Verdickungsschichten, wurden durch letzteres Reagens gelb gefärbt. Es schliesst das Endosperm nach innen mit einer Schicht ab, deren Zellen in Wasser zu regelmässig geformten Elementen sich strecken.

b) Cassia fistula.

Schleiden[1]) hat auch diesen Samen bereits in Bezug auf das Endosperm untersucht. Der grösste Theil des Samens wird von einem ungeheuer harten Schleimendosperm erfüllt, welches an Aussehen dem von Gymnocladus im Allgemeinen gleicht. Es ist dasselbe 1500 Mikr. dick, 5—5½ Mal so breit als die Testa.

Legt man einen Schnitt durch das Endosperm in Wasser, so ist die Aufquellung eine derartig starke, dass selbst Risse in der tertiären Membran entstehen, ähnlich denen, wie die Anfangsstadien bei der Keimung einzelner Samen in den Membranen sie oftmals zeigen. Auch hier verfallen Schleiden und Vogel bei der Beschreibung und Zeichnung ihrer Beobachtungen — weil ihnen die mit in die Verschleimung hineingezogene primäre Membran entging — in den Fehler, die von der tertiären Membran begrenzten Lumina für die gesammten Zellen zu halten, während sie die secundären Membranverdickungen als Intercellulargallerte bezeichnen.

Die Cotyledonarzellen beider untersuchten Species von Cassia sind stärkefrei und enthalten nur Aleuronkörner und Fett.

Ceratonia Siliqua.

Der Same hat ein sehr grosses, mächtig entwickeltes, hartes und dunkelgraues Schleimendosperm, welches an der dicksten Stelle des Samens ungefähr 1,5 mm einnimmt. Es ist im Verhältniss zur Testa 6—7 Mal so breit als dieselbe. Die Zellen der meist einreihigen Kleberschicht enthalten, wie die ziemlich grossen Lumina des

---

1) Von Schleiden und Vogel wurden ausserdem untersucht und mit mächtigem Albumen befunden: Cassia speciosa und Cassia reniformis Taf. XLIII, Fig. 57, 63 und 64.

fernung des Schleimes, noch durch Schwefelsäure, Farbstoffe oder andere Reagentien gelungen. Ich erhielt in solchen Fällen nur ein deutlicheres Bild der tertiären Membran und des Lumens, während von der primären Membran immer nur einzelne Stellen, die noch nicht vollständig in den Schleim hineingezogen worden waren, zum Vorschein kamen.

Die Cotyledonen des Samens enthalten keine Stärke; es besitzen deren Zellen nur Aleuronkörner und fettes Oel.

Auf Grund der Betrachtung der anatomischen Verhältnisse können nun die Samen der Leguminosen, welche Wandverdickungen in ihren Zellen enthalten, in zwei grosse Gruppen getheilt werden:

I. Samen, deren secundäre Wandverdickungen in den Zellen der Schleimendosperme zu suchen sind.

II. Samen, deren secundäre Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen zu suchen sind.

Die erste Gruppe zerfällt wieder in folgende drei Unterabtheilungen:

a) In Samen, bei denen sich an die Intercellularsubstanz oder primäre Membran keine Aussenlamellen anlegen. Bei diesen geht die Verschleimung der secundären Membran derartig weit, dass vom Lumen nur noch ein ganz schmaler Streifen zu bemerken ist. — Trigonella faenum graecum, Melilotus officinalis, Trifolium pratense, Colutea arborescens.

b) In Samen, bei denen an die primäre Membran der Schleimendospermzellen sich noch Aussenlamellen anlegen. In diesen Samen ist die Verschleimung der secundären Membran keine so weitgehende, so dass das Lumen noch in ziemlicher Grösse vorhanden ist. Die innerste an das Lumen grenzende Schicht kann als tertiäre Membran unterschieden werden. — Tetragonolobus purpureus, Genista tinctoria.

c) In Samen, deren primäre Membran durch die Schleimauflagerungen der secundären Membran nachträglich verschleimt ist. Auch bei diesen ist grösstentheils das Lumen noch sehr bedeutend und ebenfalls die tertiäre Membran vorhanden. — Gymnocladus canadensis, Schizolobium excelsum, Ceratonia Siliqua.

Die zweite Gruppe zerfällt in zwei Unterabtheilungen:

a) In Samen, deren Cotyledonarzellen als secundäre Auflagerung Cellulosewandverdickungen haben. — Lupinus albus, L. angustifolius und luteus, Erythrina Corallodendron, Abrus precatorius.

b) In Samen, deren Cotyledonarzellen Amyloidauflagerungen als secundäre Wandverdickungen aufzuweisen haben. — Tamarindus indica, Hymenaea Courbaril, Schotia latifolia, Goodia latifolia.

Entwickelungsgeschichte.

Ueber die Entstehung des Schleimes sind bereits mannigfache Untersuchungen angestellt worden. Frank [1]), der sich entwickelungsgeschichtlich mit den Samen von Linum, Plantago Psyllium, mit dem Rhizom von Althaea officinalis und anderen Pflanzen beschäftigte, hat den Nachweis geliefert, dass der Schleim bei diesen als secundäre Membran und zwar sofort als Schleimgallerte angelagert wird. Das Baumaterial lieferte hierzu die Stärke, welche in den jugendlichen Zellen reichlich vorhanden war und mit deren Auflösung die Entstehung der aufquellbaren secundären Membranen Hand in Hand ging.

Cramer [2]), der derselben Ansicht war, hatte ebenfalls gefunden, dass der Schleim bei den Samen von Linum, Cydonia und Plantago durch secundäre Auflagerungen entstehe, und dass die ursprünglich in den Zellen vorhandenen Stärkekörner sich in Schleim verwandeln. Während er jedoch es für sehr wahrscheinlich hielt, dass die Stärke das Baumaterial für die Bildung des Schleimes von Linum sei, war er doch der Ansicht, dass der geringe Stärkegehalt bei der Quitte nur einen höchst geringen Theil dieses Materials liefern könne.

Einen anderen Vorgang der Schleimbildung beschreibt Frank bei den Orchisknollen, und will ich denselben, da er mit meinen Untersuchungen bei den Leguminosen Aehnlichkeit hat, ausführlich

1) Frank, Ueber die anatomische Bedeutung und die Entstehung der vegetabilischen Schleime. Pringsheim's Jahrb., Bd. V.

2) Cramer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen. Zürich, 1885, p. 1.

citiren. — Frank beobachtete die Entstehung des Schleimes in den Spitzen der jungen, im zeitigen Frühjahr sich bildenden Knollen und fand, dass die jüngsten Zellen der Knollen nur mit trübem Protoplasma und grossem Nucleus erfüllt sind. Hierauf sah er in einigen Zellen, unmittelbar am Nucleus anliegend, eine kleine Druse von nadelförmigen Krystallen sich anschliessen, die dann alsbald in einem kleinen, ganz klaren, dem Zellkerne ebenfalls anliegenden Schleimtropfen eingebettet erschienen. „Derselbe ist scharf von dem trüben Protoplasma abgegrenzt, ohne dass sich etwa eine membranartige Umhüllung constatiren lässt; er ist offenbar der Anfang des Zellsaftes in Form einer Vacuolenbildung im Protoplasma. Dieser Tropfen nimmt an Grösse zu, ohne sich mit dem Protoplasma zu vermengen, dieses wird vielmehr, und ebenso der Zellkern, immer weiter gegen die Zellwand zurückgedrängt, während die Krystalldruse, welche indessen ebenfalls grösser geworden, nahezu in der Mitte des kugeligen Schleimtropfens verschleimt. In dem Maasse, als letzterer sich vergrössert, muss natürlich die Menge des Protoplasmas schwinden, es ist alsbald auf einen dünnen Wandbeleg der Membran reducirt und der Zellkern ist derselben dicht angedrückt. In der ausgebildeten Knolle ist endlich vom Protoplasma wie vom Zellkern keine Spur mehr vorhanden, die Zelle enthält lediglich Schleim und in dessen Mitte die Krystalldruse; doch lösen sich, sobald die Zellen ihr Wachsthum abgeschlossen haben, wenigstens im Innern der Knolle die Krystalle wieder langsam auf, während in den peripherischen Theilen sich die Krystalldrusen bis zum nächsten Frühjahr erhalten.“

Bei Symphytum officinale war der Vorgang der Schleimentwickelung ein wenig von den früher beschriebenen abweichend. Frank sah in den Zellen der jugendlichen Organe, noch während sie an Grösse zunehmen, den Zellsaft allmählich eine dickflüssigere Consistenz annehmen, so dass er an der Präparirnadel sich in Fäden zog. In diesem Stadium enthielten ausser anderen Formelementen die Zellen ziemlich reichlich Stärkekörnchen, die mit dem Wachsthum der Zellen und deren Schleiminhalte sich verloren.

Nach Tschirch[1]) ist die nachträgliche Metamorphose selten

1) Tschirch, Angew. Pflanzenanatomie, p. 194.

und scheint auf die Markzellen der Traganthsträucher, die lysigenen Gummigänge und einige andere Fälle beschränkt zu sein. Bei einem Theil der Schleimendosperme der Leguminosen fand ich, dass die als Celluloseschleim angelegte secundäre Membran eine Metamorphose in echten Schleim erleidet. — Tschirch erwähnt ferner, dass auch die Gallertscheide der Algen, die als eine schlüpferige Hülle z. B. die Fäden der in stehenden Gewässern häufigen Spirogyra-Arten aussen umgiebt, nicht durch Umwandlung einer Cellulosemembran sich bildet (einige wenige noch näher zu prüfende Ausnahmen abgerechnet) und wohl stets aus echtem Schleim besteht. Sie zeigt jedenfalls nie die Cellulosereaction, dagegen kommt ihr, wie Klebs[1]) zeigte, eine complicirte Organisation zu.

Sehr bemerkenswerth fand Tschirch ferner die Entstehung der oft enorm grossen Schleimlücken in den Blüthenblättern der Malva alcea und wohl aller Malven und den Kelch und Blüthenblättern von Tilia europaea. Hier wird die Schleimmembran normal durch Auflagerung secundärer Membranverdickungsschichten auf die primäre (Cellulose) Membran gebildet. Die Verdickung und Verschleimung der Membran ist aber eine derartig starke, dass das Lumen fast verschwindet und die Schichtung oft ganz unsichtbar wird. Liegen nun mehrere solcher Schleimzellen neben einander, so verquellen sie bei dem starken Wasserzutritt während der Blüthezeit nicht selten vollständig mit einander, die primären Membranen zerreissen und lösen sich zum Theil in der Schleimmasse, und so findet man alsdann scheinbar lysigen entstandene Schleimlücken.

Abraham[2]) untersuchte die Oberhautzellen einer grösseren Anzahl von Cruciferen, die eine besonders stark entwickelte Zellwandverdickung besitzen und die Eigenschaft haben, mit Wasser benetzt eine aufquellende Gallertmasse auftreten zu lassen. Durch entwickelungsgeschichtliche Studien fand er, dass das Entstehen der Wandverdickungen in den Samenoberhautzellen erst beginnt, wenn diese Zellen die Grösse erreicht haben, die sie bei der Reife des

---

1) Klebs, Ueber die Organisation der Gallerte bei einigen Algen und Flagellaten. Arbeit des bot. Inst. Tübingen, Bd. II, p. 333. — Ueber Bewegung und Schleimbildung der Desmidiaceen. Biolog. Centralblatt, 1885, p. 353.

2) Max Abraham, Bau und Entwickelungsgeschichte der Wandverdickungen in den Samenoberhautzellen einiger Cruciferen. Inaug.-Dissertation Königsberg.

Samens behalten, und dass die Wandverdickungen stets derartig gebildet werden, dass auf die schon vorhandenen Schichten sich neue durch Apposition auflagern. Das Baumaterial liefert hierzu die Stärke, welche, vorher in den Zellen reichlich vorhanden, mit dem Auftreten und Stärkerwerden der Verdickungen allmählich gelöst wird.

Godfrin[1]) hat die Entwickelung der Schleimendosperme von Coulteria tinctoria studirt. Die Wände der Zellen waren zuerst äusserst zart und bestanden aus reiner Cellulose. In dem Augenblick jedoch, in dem die Stärke in den Cotyledonen in grossen Mengen auftritt, beginnen die Membranen sich zu verdicken, und zwar findet die Anlagerung direct als Schleim statt.

Eine ganz andere Auffassung über die Schleimbildung zeigt Wiesner[2]). Beim arabischen Gummi führten ihn einzelne Wahrnehmungen auf die Vermuthung, dass ein ungeformtes Ferment die Schleimbildung bewirke, und erklärt er sich die Umwandlung der Kohlehydrate in derselben Weise, wie z. B. die der Stärke durch diastatische Fermente in Dextrin und Maltose. Da den natürlichen Gummiarten auch die vegetabilischen Schleime und Gummiharze nahe stehen, so zog er auch die Schleime in seine Betrachtungen hinein.

C. Reiche[3]) fand eine Methode, welche erlaubt, Gummi von anderen ähnlichen Kohlehydraten, namentlich Dextrin, Zucker, Stärke, Cellulose, mit Sicherheit zu unterscheiden und seine Anwesenheit neben denselben in Gemengen zu constatiren. Kocht man ein Gemenge von Gummi und Orcin mit conc. Salzsäure einige Zeit, so färbt sich die Flüssigkeit roth, hierauf violett und scheidet einen tiefblau gefärbten Niederschlag ab, der in Weingeist löslich ist. Von dem Zutreffen dieser Reaction hat sich Wiesner oft überzeugt, und rührt nach seiner Ansicht diese Reaction nicht von Kohlehydraten, Gummibestandtheilen (Arabin, Cerasin, Bassorin)

---

1) Godfrin, l. c.

2) Julius Wiesner, Ueber das Gummiferment, ein neues diastatisches Enzym, welches die Gummi- und Schleimmetamorphose in der Pflanze bedingt. Sitzungsber. d. k. Academie d. Wissensch. zu Wien, I. Abth., 1885, p. 41—67.

3) Zeitschrift für analytische Chemie, 19. Jahrg., p. 357, nach Chem. news. 38, p. 145.

her, sondern von dem vorhandenen Ferment. (Diastase und Pepsin verhalten sich ähnlich.) Zu den Untersuchungen Wiesner's, ob auch hier ein Ferment die Umwandlung bewirke, dienten die Samen von Linum, Cydonia, Plantago Psyllium u. a. Seine ersten Versuche gaben ein negatives Resultat. Als nämlich der durch Einwirkung von Wasser auf die Samen entstandene Schleim mit Orcinlösung und Salzsäure gekocht wurde, stellte sich die Fermentreaction gar nicht oder nur sehr zweifelhaft ein. Wurden dagegen die den Schleim liefernden Samenschalen der genannten Pflanzen mit Salzsäure und Orcinlösung erwärmt, so stellte sich die Reaction in der prachtvollsten Weise ein. Die Flüssigkeit wurde nach wenigen Stunden rothviolett, sodann violett und schied alsbald einen blauen Niederschlag ab, der sich ebenso, wie der durch das Gummiferment gelieferte verhielt. Als er unter dem Mikroskop die Einwirkung der Reagentien auf die schleimführenden Zellwandpartieen der Quittensamen betrachtete, sah er, dass jene Zellwandschichten, die der Schleimmetamorphose unterliegen, jene Färbungen erkennen lassen, ganz besonders deutlich die unvollständig metamorphosirten Theile, die noch am stärksten mit dem Ferment imprägnirt zu sein scheinen. Bei beendigter Metamorphose schwindet dasselbe wohl vollständig.

Die mikrochemische Reaction stellte er in folgender Weise an: Er legte Schnitte durch das zu prüfende Gewebe in einen Tropfen 4proc. Orcinlösung und bedeckte dieselben mit einem Deckgläschen, wobei er jedoch dafür Sorge trug, dass die Flüssigkeit nicht weit über den Schnitt hinausragte. Hierauf fügte er so viel Salzsäure hinzu, bis der zwischen Deckglas und Objectträger liegende Raum mit der Flüssigkeit erfüllt war. Nachdem er nun schwach erwärmt und auf dem Drahtnetz bis zum Kochen erhitzt, brachte er den erkalteten Objectträger unter das Mikroskop. Im Plasma war sodann die violette oder blaue Färbung, resp. in den Zellwänden zu constatiren, wenn die Metamorphose bereits im Gange war. Er war also der Ansicht, dass ein Ferment die Umwandlungen in Schleim verursache, und stellte er dieses Ferment in die Kategorie der stärkeumbildenden oder diastatischen Enzyme, welches sich dadurch von diesen unterscheidet, dass es die Stärke wohl in Dextrin, nicht aber in eine reducirende Zuckerart umzusetzen im Stande ist.

Um diese Reaction kennen zu lernen und dann zu verwerthen,

stellte ich dieselbe zunächst am Endosperm eines Weizenkornes an, bei dem das Vorhandensein von Diastase ausser Frage stand, und erzielte hiermit, besonders bei einer Modification der Reaction, ein positives Resultat, es trat eine schöne Violettfärbung ein. Den Schnitt legte ich in einen Tropfen Orcinlösung, erwärmte dieselbe, bis sie fast zur Trockne verdampft war, und setzte nach dem Zufliessenlassen von Salzsäure das Erwärmen noch einige Zeit fort. Desgleichen erzielte ich eine Bläuung der Schleimanlagen bei gleicher Behandlung noch nicht ganz reifer Samen von Linum usitatissimum, während dieselbe bei reifen Samen ausblieb.

Niemals ist mir eine Reaction mit Orcinlösung und Salzsäure bei den Schleimendospermen der Leguminosen gelungen, weder bei ruhenden Samen derselben, noch bei solchen, die ich in den verschiedensten Entwickelungsstadien untersuchte. Die Bildung der Schleimverdickungen ist bei diesen also sicherlich nicht von einem diastatischen Enzym abhängig. — Die Schleimendosperme der Leguminosen muss ich, soweit ich meine Untersuchungen anzustellen im Stande war, entwickelungsgeschichtlich in zwei Gruppen theilen, in solche, bei denen die Zellen des Schleimendosperms derartig mit Schleimgallerte erfüllt sind, dass vom Lumen nur noch ein schwacher Spalt vorhanden, wie Trigonella, und zweitens in Endosperme, in deren Zellen die Verschleimung nicht so weit gediehen ist, sondern noch ein ausserordentlich grosses Lumen vorhanden ist, wie bei Tetragonolobus u. a.

Trigonella Faenum graecum.

Nachdem die Entwickelung des noch unverdickten Endospermgewebes in sehr jungem Stadium bereits beendigt, brechen erst die Cotyledonen durch dasselbe sich Bahn. — Als ich in einem so jungen Stadium die grünen Samen von 2,5 mm Länge und 1,5 mm Breite untersuchte, fand ich die Schleimendospermzellen von einer dünnwandigen primären Membran umgeben, während in der Mitte, unter dem feinkörnigen Plasma, welches den Zellkern sehr deutlich nebst Kernkörperchen erkennen liess, die jüngsten Anlagen des Schleimes in Form von 2—3 Schleimvacuolen sichtbar wurden (Fig. 16). In der parenchymatischen Schicht der Testa waren kleine transitorische Stärkekörnchen aufgetreten. — Als wenige Tage

später auch die Cotyledonen sich bereits entwickelt hatten, fand ich in deren Zellen sowohl wie in denen der Stützzellen- und parenchymatischen Schicht der Testa eine starke Anhäufung von transitorischer Stärke. Die Endospermzellen dieser 4,2 mm langen, 2,5 mm breiten Samen waren noch dünnwandig, dagegen hatte die Anzahl der in den Endospermzellen vorhandenen Schleimvacuolen zugenommen. Diese waren in einzelnen Zellen zu einer grossen Schleimblase zusammengeflossen, in der man den Schleim sogar schon in Wasser betrachtet, als äusserst feinkörnigen Inhalt wahrnehmen konnte (Fig. 16, S). Das Plasma war mit dem Zellkern durch diese Schleimblase an die primäre Membran zurückgedrängt, und hatte durch dieses Anpressen an die Wandung der vorher runde Zellkern eine längliche Form angenommen. — Spätere Stadien zeigten von Tag zu Tag Veränderungen, es hatte die Anlage der secundären Membranverdickung direct als echter Schleim (Jodschwefelsäure-Gelbfärbung) durch Apposition begonnen, wodurch das Lumen wiederum in der Mitte der Zelle seinen Platz erhielt. Je weiter nun die Schleimablagerung an Dicke gewann, desto mehr verschwand das Lumen und blieb schliesslich nur noch als feiner Spalt zurück. — Als das Schleimendosperm seine vollständige Ausbildung beendigt, hatten die vorher erwähnten, mit Stärke erfüllten Theile immer noch eine äusserst starke Anhäufung von transitorischer Stärke aufzuweisen, ja im Inhalt der Schleimendospermzellen waren einzelne zerstreut liegende Stärkekörnchen zu treffen.

Colutea brevialata.

Wie der Bau der Schleimendospermzellen im ruhenden Samen von Colutea denen von Trigonella gleiche Verhältnisse zeigte, so war auch die Entwickelungsgeschichte beider Samen analog. — In den jungen, grünen, 2 mm langen, 1,2 mm breiten Samen der aufgeblasenen Hülse war das Endospermgewebe zwar schon gebildet, die Zellen desselben waren jedoch noch dünnwandig. Ich beobachtete auch hier in dem Plasma zerstreut liegende Schleimvacuolen, die späterhin in eine grosse Blase zusammenflossen und ebenfalls das Plasma an die Wandung zurückdrängten. In der Testa und zwar hauptsächlich in der parenchymatischen Schicht waren sehr viel Stärkekörnchen vorhanden. — Nun begann die Anlage der secundären

Wandverdickungen als echter Schleim, und es trat das Plasma wieder in die Mitte. Mit dem Stärkerwerden der verdickten Schleimmembran verschwand jedoch das Lumen immer mehr und mehr. Die Cotyledonarzellen zeigten in diesem Stadium ebenfalls viel Stärkeanhäufung.

Bei Samen, deren Länge 5,5 mm, deren Breite 5 mm und deren Dicke 3 mm betrug, war der Process der Schleimbildung beendigt. Ich bemerkte in den Zellen, die vom Lumen nur noch einen schmalen Spalt erkennen liessen, schon in Wasser eine äusserst feinkörnige Schleimmasse, die durch Jodschwefelsäure unter körniger Fällung gelb gefärbt wurde und sogar bereits eine schwache Schichtung zeigte. Die Blaufärbung der primären Membran trat erst nach einiger Zeit ein.

Bei den Samen von Astragalus falcatus ergaben sich, entwickelungsgeschichtlich untersucht, dieselben Verhältnisse.

Tetragonolobus purpureus.

Der ruhende Samen von Tetragonolobus ist von mir als Typus einer ganzen Reihe von Samen bereits in dem anatomischen Theile meiner Arbeit berücksichtigt worden.

Die ihm in Bezug auf das Schleimendosperm ähnlich gebauten Samen zeigen auch, was die Entwickelungsgeschichte desselben anbelangt, einen ihm analogen Aufbau.

Die jüngsten Stadien weichen von den vorher beschriebenen Samen durchaus nicht ab, es entstehen ebenfalls Schleimvacuolen, die schliesslich zu einer Blase zusammenfliessen. Die Stützzellen- und parenchymatische Schicht besitzen auch ungeheuer grosse Stärkeanhäufungen, weniger jedoch die Cotyledonen. Die Anlage der secundären Verdickungsschichten weicht jedoch von der der vorher beschriebenen Samen wesentlich ab, und zwar erfolgt dieselbe hier zunächst als Cellulose. Es rief Jodschwefelsäure eine intensive Bläuung der primären Membran, dagegen nur eine lichtblaue Färbung der secundären Verdickungsschichten hervor.

Die Metamorphose dieser Celluloseanlagerung in echten Schleim beobachtete ich bei einem ihm gleich gebauten Samen von Indigofera hirsuta, von dem mir alle Entwickelungsstadien zu Gebote standen, weswegen ich auch diesen einer genaueren Beschreibung würdigen will.

Indigofera hirsuta.

Das Endospermgewebe hatte im jugendlichen Stadium dünnwandige, mit plasmatischer Masse erfüllte Zellen, die von einer primären Membran umgrenzt waren. Der Zellkern mit Kernkörperchen war sehr deutlich ausgebildet. — Einige Tage später fand ich in den jungen, 3 mm langen und 2,5 mm breiten Samen mehrere Schleimbläschen von verschiedener Grösse, die als runde Schleimvacuolen in feinkörnigem Plasma eingebettet lagen. Diese kugelförmigen Vacuolen waren sofort von den körnig umgrenzten Plasma-Hohlräumen mit Leichtigkeit zu unterscheiden, auch dadurch, dass durch Glycerin nach längerer Einwirkung ihr Inhalt feinkörnig wurde. Nach nur wenigen Tagen hatten in den meisten Zellen diese Schleimbläschen sich zu einer grösseren Schleimblase vereinigt, welche letztere das Plasma derartig an die Wandung presste, dass es nur noch als schmaler Spalt sichtbar blieb.

Auch hier begann nun nach und nach der Verbrauch der Schleimblase durch das Plasma zur Anlage des Schleimes an die Wandung, und es trat wiederum dementsprechend das Plasma in die Mitte der Zellen.

Bei einem 4 mm langen, 3,5 mm breiten, 2 mm dicken, schon etwas härteren Samen, dessen grüne Farbe in die gelbliche überzugehen begann, bemerkte ich, dass die secundären Membranverdickungen schon ihre endgiltige Breite erreicht, und dass die Verdickung als Cellulose angelegt wurde. Ich erhielt mit Hilfe von Jodschwefelsäure eine tiefblaue Färbung der primären Membran und eine nur schwache, lichtblaue Färbung in den secundären Verdickungsschichten. Die tertiäre Membran war noch nicht gebildet. Nach Verlauf von zehn Tagen war auch diese bereits vorhanden. Als ich nun von Neuem Jodschwefelsäure hinzufliessen liess, sah ich, dass die Metamorphose der angelegten Celluloseverdickung in echten Schleim bereits geschehen. Es war im Beginne der Reaction eine äusserst schwache Bläuung der secundären Verdickungsschichten in einzelnen Zellen zwar noch eingetreten, dieselbe wurde jedoch sofort durch eine Gelbfärbung verdeckt.

In den Schleimendospermzellen hatte ich in keinem Stadium transitorische Stärke beobachten können, dagegen trat sie in den

Cotyledonen und ganz besonders in der parenchymatischen Schicht der Testa sehr reichlich auf.

Die Entwickelungsgeschichte der dem Schleim verwandten Amyloidauflagerungen in den Cotyledonen beobachtete ich an den Samen von Goodia latifolia, und waren folgende drei Stadien für die Anlage des Amyloids charakteristisch.

Ein noch grüner, 3,5 mm langer, 2,2 mm breiter, 1 mm dicker weicher Same zeigte bei mikroskopischer Untersuchung der Cotyledonen dünnwandige Zellen, bei denen noch keine Spur von Auflagerung vorhanden (Fig. 1). Bei einem derartigen Schnitt trat, mit wässeriger Jodjodkaliumlösung behandelt, auch keine Reaction ein, dagegen färbte sich auf Zusatz von Schwefelsäure die primäre Membran blau, sie bestand also aus reiner Cellulose.

In einem weiteren Stadium, in Samen von 5 mm Länge, 3 mm Breite und 2 mm Dicke, deren Consistenz auch bereits eine härtere war, beobachtete ich schon schwache Auflagerungsschichten, die direct als Amyloid angelegt wurden (Fig. 2); es trat beim Hinzufliessen einer wässerigen Jodjodkaliumlösung bei ihnen eine helle Bläuung ein. — Bei einem Samen, dessen äussere Schale bereits gelblich, an mehreren Stellen bräunlich geworden und der 5,5 mm lang, je 5 mm breit und dick war, hatte die gesammte Amyloidauflagerung in Form von lichtbrechenden Schichten ihr Ende erreicht. Zellen aus einem derartigen Präparat sind in Fig. 3 dargestellt, und zeigen uns die Cotyledonarzellen in vollendeter Entwickelung. Das Plasma ist in dem Präparate contrahirt. Wässerige Jodjodkaliumlösung färbte das Amyloid intensiv blau.

Diese Beobachtungen ergaben mir demnach folgende Resultate: Die Anlage des Schleimes im Schleimendospermgewebe der Samen der Leguminosen beginnt mit dem Auftreten von Schleimbläschen in den Zellen, die später zu einer grösseren Blase zusammenfliessen, welche hierauf zum Bau der secundären Schleimmembran Verwendung findet. Die Anlage erfolgt bei einem Theil der Samen direct als echter Schleim, bei einem zweiten Theil derselben als Cellulose, die späterhin durch Metamorphose ebenfalls in echten Schleim übergeht.

Zu der ersten Classe gehören sämmtliche Samen, die Trigo[nella] foenum graecum gleich gebaute Endosperme besitzen, wie Co[lutea] arborescens, C. brevialata, Astragalus falcatus; zur zweiten Cla[sse] jene an Tetragonolobus purpureus sich anschliessenden Samen, w[ie] Indigofera hirsuta, Genista tinctoria, Ulex europaeus.

Was die Bildung des Amyloids in den Cotyledonen betrifft, s[o] findet man in den jüngsten Stadien die Zellen von nur zar[ten] Cellulosewandungen umgeben. In einem späteren Stadium fin[det] an jeder Seite der primären Membran eine schwache Anlager[ung] statt, die nach und nach zu einer dicken Schicht wird. Die A[b]lagerung geschieht direct als Amyloid.

Keimung.

Um die Function der in den Cotyledonen und dem Endosper[m] vorkommenden Kohlehydrate näher zu ergründen, habe ich m[it] Ausnahme von Stärke und fettem Oel, die als Reservestoffe läng[st] erkannt sind, verschiedene Keimungsversuche angestellt, welche m[ir] ein positives Ergebniss lieferten. Zunächst hatte ich das Verhalt[en] der secundären Auflagerungen in den Cotyledonarzellen sowohl i[n] Form von Cellulose, als auch in Form von Amyloid, sodann d[ie] secundären Verdickungen in den Zellen des Schleimendosperms b[ei] der Keimung studirt. Als ein für die Untersuchung der Cellulos[e-] Wandauflagerungen sehr geeignetes Object habe ich den Samen v[on] Lupinus angustifolius gewählt, für die der Amyloidverdickung[en] Goodia latifolia und für das Verhalten der Schleimendosperme b[ei] der Keimung die Samen von Tetragonolobus purpureus und Trig[o-] nella foenum graecum. — Die Keimungsversuche wurden, nachd[em] die Samen in Leitungswasser angequollen, in einem feuchten Ra[um] auf Fliesspapier vorgenommen.

Lupinus.

Bei der Einquellung in Wasser fand ich, dass die Samen v[on] L. albus und L. angustifolius infolge der sehr starken Wa[nd-] auflagerungen in den Cotyledonarzellen schon nach einigen Stund[en]

bedeutend aufgequollen waren, während bei L. luteus die Quellung langsamer vor sich ging und die aufgequollenen Samen nicht die Grösse jener erstgenannten erlangten. Aus diesen Unterschieden bei der Einquellung von Samen mit verschieden stark dicken Auflagerungsschichten in den Cotyledonarzellen habe ich zunächst den Schluss gezogen, dass diese secundären Wandverdickungen, wenn auch nur in zweiter Linie, als Quellgewebe dienen.

Nachdem die Samen zu keimen begonnen und die Radicula herausgekommen war, hatte ich meine Aufmerksamkeit besonders auf Lupinus angustifolius gerichtet. Am ersten und zweiten Tage war noch keine nennenswerthe Veränderung im Samen zu bemerken, am dritten Tage zeigten sich einige äusserst kleine, zerstreut liegende Stärkekörnchen und die secundären Wandverdickungen waren im Anfangsstadium der Auflösung begriffen. — Am fünften Tage hatte die Radicula eine Länge von über 35 mm erreicht. Die parallel liegenden Auflagerungsschichten in den Cotyledonarzellen waren nun stark aufgequollen, so dass sie eine zusammenhängende Masse bildeten. Nur an wenigen Stellen konnte man noch die ursprünglich parallel laufenden Schichtungen erkennen.

Ferner beobachtete ich in den Cellulose-Auflagerungsschichten dicht neben einander liegende Streifungen, radiale Risse, ein deutliches Zeichen, dass der Auflösungsprocess jetzt stark im Gange war. Aeusserst kleine Stärkekörnchen waren in grösserer Menge aufgetreten und wurden dieselben durch Bläuung mit Chloralhydratjodlösung als solche deutlich identificirt. Am siebenten Tage war die Auflösung noch weiter gediehen, die radialen gleichmässigen Risse hatten eine keilförmige Gestalt angenommen (Fig. 8), sie waren von ungleicher Länge und nun über die ganze Auflagerungsschicht verbreitet; dementsprechend hatten sich auch die Stärkekörnchen vermehrt. — An Samen, bei denen die Testa bereits abgeworfen war, beobachtete ich, dass nun eine Corrosion neben der Auflösung durch Risse vor sich gehe. Die Auflösung erfolgt von innen her, so dass die keilförmigen Risse ihre breite Seite an der tertiären Membran haben und von innen nach aussen spitzer zugehen. In einem weiteren Stadium, bei jungen Pflänzchen, bei denen die Radicula 40 mm lang und die Plumula eine Höhe von 80 mm erreicht hatte und bei denen die ersten Blättchen zwischen den Cotyledonen

hindurchgebrochen waren, fand ich schon Chlorophyllkörnchen in den Cotyledonarzellen vor. In denjenigen Zellen, in denen noch wenig Chlorophyll vorhanden, waren die Verdickungsschichten verhältnissmässig stark; in denjenigen jedoch, in welchen es schon in grösseren Mengen auftrat, waren die secundären Wandverdickungsschichten nur noch stellen- und spurenweise vorhanden. Am 22. Tage untersucht, fand ich, dass die Cotyledonen an ihrer nach aussen gelegenen Seite die grüne Farbe eingebüsst hatten, dass sie bräunlich wurden und einzuschrumpfen begannen. Die Radicula war 6 cm lang, das hypocotyle Glied betrug 10 cm. Eine Beobachtung an der eingeschrumpften Seite des Cotyledons zeigte nun, dass in den meisten Zellen keine Spur von Wandverdickung mehr vorhanden, dass in einzelnen jedoch noch geringe Spuren sichtbar waren. — Der nach innen gelegene Theil des Cotyledons, glatt und grün, hatte noch ziemlich erhebliche secundäre Wandverdickungen in einzelnen Zellen, während andere sie schon ganz verloren hatten. — Eine bedeutend spätere Untersuchung bot mir ein dünnwandiges Cotyledonargewebe, und nur sehr wenige Zellen waren in der Aufzehrung der Verdickungen zurückgeblieben. — Das Verhalten bei der Keimung zeigte mir also, dass zunächst bei der Auflösung in den secundären Verdickungsschichten Risse sich bilden, und dass dann Corrosion und Abschmelzung eintritt. Mit der Aufzehrung der Wandverdickungen geht das Auftreten von Stärke und Chlorophyll Hand in Hand. Das Verschwinden der Wandauflagerungen durch Abschmelzung, die letzten Stadien des Processes, gehen durchaus unregelmässig in den Zellen vor sich.

Da nun die Wandverdickungen bei der Keimung der Samen aufgelöst, d. h. aufgebraucht werden, so ersieht man hieraus, dass die Celluloseauflagerungen in den Cotyledonarzellen in erster Linie Reservestoffe sind.

Goodia latifolia.

Beim Einquellen des Samens von Goodia fand eine erhebliche Vergrösserung seines Volumens statt, was wohl hauptsächlich ebenfalls auf die in den Cotyledonarzellen vorhandenen secundären Wandverdickungen, die hier in Gestalt von Amyloid auftreten, zurückzuführen ist. Eine Veränderung der Substanz hatte das Einquellen in

Wasser nicht hervorgerufen, wovon ich mich durch Behandlung eines Schnittes mit wässeriger Jodjodkaliumlösung überzeugte. Es trat hiermit dieselbe Reaction ein, wie sie bereits im ruhenden Samen von mir beobachtet worden ist. Im gekeimten Samen, dessen Radicula 15 mm aus der Testa herausragte, waren Körnchen von transitorischer Stärke in ziemlicher Menge aufgetreten, dementsprechend war auch die Lösung der Amyloidauflagerung bereits im Gange. — Als Anfangsstadium habe ich nicht, wie bei Lupinus, das Auftreten von Rissen beobachten können, sondern es findet unter starkem Aufquellen eine Abschmelzung der Verdickungen statt. Dieser Vorgang vollzieht sich nicht in der ganzen Zelle zu gleicher Zeit, sondern erscheint vollständig ungleichmässig an einzelnen Stellen der Amyloidauflagerung (Fig. 4). — Am besten kann man die ungleichmässige Abnahme des Amyloids beim Eintreten der Amyloidreaction mit Jodjodkaliumlösung beobachten. Es findet an einigen Stellen der Zellwandung keine Bläuung mehr statt, während an anderen Stellen die secundäre Membranverdickung noch ihre ursprüngliche Reaction ohne jegliche Veränderung zeigt. In einem wenige Tage älteren Stadium beobachtete ich, dass, nachdem das Abschmelzen weitere Fortschritte gemacht, auch hier deutlich sichtbare, keilförmige und spitze radiale Risse entstehen (Fig. 5). — Am 16. Tage nach der Einkeimung war die Radicula 24 mm lang und an der Plumula waren die ersten Blättchen hervorgebrochen. Es zeigte sich nun bei der Beobachtung der Cotyledonen, dass die meisten Zellen mit Chlorophyllkörnern stark angefüllt waren und nur noch Spuren von secundären Membranauflagerungen besassen. Bei denjenigen Zellen aber, bei denen die Chlorophyllkörner im Plasma noch nicht vorwiegend aufgetreten waren, war noch eine grössere Menge der secundären Membranauflagerung vorhanden. Bei diesen zeigte sich in der Wandverdickung durch wässerige Jodlösung eine nur schwach hervorschimmernde Bläuung (Fig. 6); das Amyloid hatte also schon sehr stark durch Abschmelzung abgenommen. — Am 21. Tage war das Auftreten von Corrosion und Rissen in den noch übrig gebliebenen Auflagerungen sehr bedeutend, worauf von Neuem Abschmelzung eintrat. — Zum Schluss verschwand die secundäre Membranverdickung durch weiteres Abschmelzen vollständig; das Auftreten und die Zunahme der Stärke und dann der Chlorophyll-

Membran war kleiner geworden und die Zelle, wie das Lumen hatten sich ein wenig abgerundet (Fig. 13). An Samen, bei denen die Radicula 8 mm aus der Testa herausragte, hatte die Sprengung in der tertiären Membran oder Innenhaut weitere Fortschritte gemacht und war an einzelnen Stellen ihre Lösung im Gange. Die Intercellularsubstanz und die äusseren Lamellen waren dagegen noch unversehrt vorhanden, ferner waren die secundären Verdickungsschichten noch schwach sichtbar. Eine Behandlung des Schnittes mit Jodlösung zeigte mir, dass die Plasmasubstanzen im Lumen der Zellen zum grössten Theil aufgebraucht, sie bedeutend geringer geworden. In den secundären Auflagerungsschichten war noch viel Schleim vorhanden, da durch Jodschwefelsäure eine immerhin noch starke Gelbfärbung und körnige Fällung des Schleimes eintrat. Dass sich jedoch der Schleim in Lösung befand, konnte man deutlich an der regulären Vertheilung des Plasmakörpers sehen. Die Cotyledonarzellen zeigten transitorische Stärkekörnchen. — Bei Samen, deren Radicula 12—14 mm lang war, deren Cotyledonen jedoch noch nicht die Samenschale verlassen hatten, war die tertiäre Membran der Schleimendospermzellen schon vollständig aufgelöst. Die primäre Membran war an den meisten Stellen noch gut erhalten, hatte aber radiale, kleine Risse aufzuweisen, von ähnlichem Aussehen, wie dieselben als Anfangsstadium bei der Auflösung der tertiären Membran aufgetreten waren (Fig. 14). Die vollständig unversehrte äussere Lamelle oder primäre Wandverdickung fand man jetzt näher dem Plasmasäckchen gelegen. In den Cotyledonarzellen war jetzt Stärke in grösseren Mengen aufgetreten. — Samen, deren Radicula 2 cm aus der Testa herausragte, zeigten, dass die primäre und tertiäre Membran der Schleimendospermzellen durch Lösung vollständig verschwunden, dass die Zellen sich ganz abgerundet und erheblich kleiner geworden waren (Fig. 15). Es war nur noch, besonders bei den der Radicula zunächst gelegenen Theilen des Samens, das entleerte Plasmasäckchen vorhanden, welches von der äusseren Lamelle umgeben wurde; je weiter die entnommenen Theile des Endosperms von der Radicula entfernt lagen, ein um so weniger vorgerücktes Auflösungsstadium war zu constatiren. — Bei allen diesen Stadien hatten die Cotyledonen ihre Testa noch nicht abgeworfen, trotzdem war die Aufzehrung des Schleimes bereits vollendet, worin mich

noch die mit Jodschwefelsäure angestellte Reaction bekräftigte, die nun bei den entleert zurückgebliebenen Häutchen ein Zusammenfallen unter intensiver Blaufärbung verursachte. — Die späterhin abgeworfene Testa führte nur noch die entleerte Kleberschicht und die beiden zusammengefallenen und eingetrockneten Häutchen des eigentlichen Schleimendosperms. Diese deutlich fortschreitenden Stadien der Auflösung im Gewebe, ferner die durch Reaction nachgewiesene gänzliche Aufzehrung des Schleimes bewiesen auf das Bestimmteste, dass das Schleimendosperm Reservestoffbehälter ist und dass der Schleim desselben als Reservestoff für den Aufbau der jungen Pflanze dient. Die zu Anfang des Keimungsprocesses erwähnte Sprengung der Testa infolge zu starker Quellung bewirkt öfters, dass bei solchen Samen die Testa nebst dem Schleimendosperm nicht mehr fest die Cotyledonen umschliesst, weshalb man daher auch bei der abgeworfenen Testa vielfach das nicht ausgesogene Endosperm noch vorfindet.

Beim gekeimten Samen zeigte sich Kalkoxalat im Endosperm, während es im ruhenden Samen nur in der Testa vorhanden war, und ist es nicht unwahrscheinlich, dass bei der Keimung eine Auflösung des in der Testa vorhandenen Kalkoxalates und eine Wanderung desselben durch das Endosperm nach den Cotyledonen zu stattfindet.

Trigonella faenum graecum.

Der Same von Trigonella, dessen Schleimendosperm, wie aus dem anatomischen Theile zu ersehen, von Tetragonolobus in seinem Bau bedeutend abweicht, zeigte ebenfalls durch die angestellten Versuche, dass der Schleim des Endosperms bei der Keimung als Reservestoff aufgebraucht wird. Da diesen Schleimendospermzellen jedoch die äussere Lamelle fehlt, ist auch der Auflösungsprocess ein entsprechend anderer. — Ich fand zunächst bei der Einquellung in Wasser, dass auch hier infolge des mächtigen Endosperms schon nach einigen Stunden sich der Same bedeutend vergrössert und dass ähnliche Vorgänge, wie das Platzen der Testa, ziemlich häufig vorkamen, weswegen bei derartigen Samen die späterhin abgeworfene Testa vielfach das nicht vollständig ausgesogene Endosperm noch zeigte.

Bei Samen, deren Quellung einen normalen Verlauf genommen hatte, stellte ich zunächst durch Messungen fest, dass der Hauptsitz der starken Vergrösserung in dem gallertartig aufgequollenen Schleimendosperm zu suchen war, wenngleich die Cotyledonen um ein Geringes sich ebenfalls vergrössert hatten. — Die gequollenen Samen wurden genau, wie die vorher beschriebenen, in einem feuchten Raum zur Keimung gebracht, und war eine allgemeine Auflockerung des Schleimendosperms zu bemerken, nachdem die Radicula durch die Testa hindurchgebrochen. Am fünften Tage hatte der als secundäre Membran abgelagerte Schleim eine mehr flüssige Consistenz angenommen und nun wurde derselbe allmählich aufgebraucht. — In den Cotyledonarzellen war äusserst kleinkörnige, transitorische Stärke aufgetreten. Die fortschreitende Abnahme des Schleimes konnte man daran sehen, dass die primären Wandungen der Zellen infolge der Entleerung nach und nach ihr im gequollenen Zustande gestrecktes Aussehen verloren, ferner daran, dass die mit Jodschwefelsäure im ruhenden Samen bewirkte Gelb- bis Braunfärbung und die damit verbundene körnige Fällung des Schleimes in den verschiedenen Keimungsstadien immer schwächer wurde und schliesslich gar nicht mehr eintrat. Die Intercellularsubstanz blieb vollständig erhalten.

Hand in Hand mit der Aufzehrung des Schleimes ging die Zunahme der transitorischen Stärke in den Cotyledonarzellen vor sich, und hatte dieselbe bei der vollständigen Entleerung des Schleimendosperms ihren Höhepunkt erreicht. Von diesem Zeitpunkte an wurde die Stärke nach und nach gelöst. — Mit dem Augenblick der vollständigen Entleerung der Schleimendospermzellen fielen dieselben zusammen, und nun begann das zusammengeschrumpfte, nur aus den primären Membranen bestehende Gewebe, welches mit Jodschwefelsäure behandelt die reine Cellulosereaction zeigte, zu vertrocknen. Hierdurch wurde eine Loslösung der Testa von den Cotyledonen bewirkt.

Zur Beobachtung des Verhaltens der Wandverdickungen in den Zellen sind von Sachs[1]) Keimungsversuche angestellt worden, und schon jener Autor meinte, als er besonders die aus Cellulose be-

1) Zur Keimungsgeschichte der Dattel, Bot. Ztg. 1862.

stehenden Auflagerungen im Endosperm der Dattel beobachtete, dass in allen Fällen, in denen Wandverdickungen in den Endospermzellen vorkommen, die Verdickungen bei der Keimung allmählich gelöst werden, die betreffenden Zellen zu keiner neuen Lebensthätigkeit mehr gelangen, und dass nur die ungelösten, zusammengedrückten Intercellularsubstanzen zurückbleiben. Frank[1]) fand ebenfalls, dass die secundären Membranen der hypogäen Cotyledonen von Tropaeolum bei der Keimung einer Auflösung entgegengehen, und dass die Auflösung von der Innenseite der Membran aus erfolgt.

Meine Keimungsversuche fassten sowohl die secundären Schleimverdickungen in den Endospermzellen, als auch jene secundären Membranauflagerungen, wie ich sie in den Cotyledonen bei einer Reihe von Samen als Cellulose und Amyloid beschrieben habe, in's Auge.

Das Hauptergebniss dieser Versuche war, dass sowohl der als secundäre Membranverdickung abgelagerte Schleim in den Endospermzellen der Leguminosen, als auch die secundäre Cellulose- und Amyloidauflagerung in den Cotyledonarzellen Reservestoff sind, da sie bei der Keimung in Lösung gehen und von der jungen Pflanze zum Aufbau verbraucht werden.

Der Vorgang bei der Auflösung des Schleimendosperms ist von dessen anatomischem Bau abhängig, und glaube ich, dass das Verhalten der secundären Wandverdickungen der Schleimendosperme von Trigonella und Tetragonolobus bei der Keimung der Samen für die Art der Auflösung der secundären Wandverdickungen sämmtlicher Endosperme der Leguminosensamen als Typen hingestellt werden können. Bei dem Samen von Tetragonolobus und ähnlich gebauten, an deren primäre Membran der Schleimendospermzellen sich äussere Lamellen gleichsam als primäre Membranverdickung anlehnen, und deren Zellen ausserdem eine deutlich ausgebildete tertiäre Membran als Begrenzung um das Lumen besitzen, war der Verlauf bei der Auflösung des Endosperms folgender: Es traten zunächst radiale Risse in der tertiären Membran auf, und während dieselbe sich vollständig löste, begann in ähnlicher Weise mit radialer Streifung die Lösung in der Intercellularsubstanz. Zu

1) **Frank**, l. c. p. 176.

gleicher Zeit verschwanden auch nach und nach die secundären Schleimverdickungen. Die äussere Lamelle blieb dagegen unversehrt zurück und legte sich um das Plasmasäckchen, bis nach vollständiger Entleerung beide Membranen zusammenfielen und eintrockneten.

Im Samen von Trigonella jedoch, bei dessen Schleimendospermzellen an die primäre Membran keine äussere Lamelle sich anlehnt, wo ferner ein Vorhandensein der tertiären Membran nicht zu constatiren war, ist dementsprechend der Process ein einfacherer. Der Schleim der secundären Membranverdickungen wird allmählich gelöst, und es fallen dann ebenfalls die zurückbleibenden primären Membranen zusammen und vertrocknen. Ebenso verhalten sich die Trigonella ähnlich gebauten Endosperme von Melilotus, Colutea u. a. — Es bleibt also im ersteren Falle die äussere Lamelle, im zweiten die Intercellularsubstanz erhalten. Mit der Aufzehrung des Schleimreservestoffes ist die Function des Endosperms im Samen beendigt.

Anders verhält es sich dagegen mit den secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen, sei es als Cellulose oder als Amyloid. Nachdem in diesen die Auflösung der Auflagerungsschichten vollendet, ja sogar während der letzten Lösungsstadien, beginnt schon das Ergrünen der Cotyledonen, die der Pflanze noch sehr lange Zeit als lebende Organe erhalten bleiben.

Während Godfrin[1]) nur ganz kurz den Keimungsvorgang bei den Amyloidverdickungen in den Cotyledonen von Schotia latifolia behandelt, sind von Heinricher[2]) die Verdickungen von Impatiens Balsamina einer etwas genaueren Betrachtung unterzogen worden, und fand ich, dass, wenngleich Impatiens Balsamina nicht der Familie der Leguminosen angehört, doch in den Hauptpunkten bei der Keimung mit den Samen dieser Abtheilung eine ziemlich genaue Uebereinstimmung vorhanden ist. Samen, deren secundäre Membranverdickung in den Cotyledonen aus Cellulose oder Amyloid besteht, ergeben zwar gleiche Schlussresultate bei den Keimungsversuchen, der Verlauf derselben geht jedoch nicht in ganz analoger Weise vor sich, ja es zeigen sich sogar wesentliche Abweichungen.

Während bei der Auflösung der Cellulose bei Lupinus u. a.

---

1) Godfrin, l. c.
2) Heinricher, l. c.

radiale Streifungen, die im weiteren Verlaufe eine keilförmige Gestalt annehmen, die Lösung einleiten und diese durch Corrosion und schliesslich durch Abschmelzung fortgesetzt wird, fand ich das Anfangsstadium des Auflösungsvorganges bei den Amyloidauflagerungen, wofür ich als Beispiel Goodia latifolia gewählt hatte, in anderer Weise verlaufend. — Als einleitenden Process sehen wir hierbei die Abschmelzung der Verdickungen, worauf erst radiale Streifungen, sodann keilförmige Risse entstehen, an deren Stelle dann Corrosion und Abschmelzung den Vorgang schliessen. — Heinricher[1]) erklärt, dass bei Impatiens keine bemerkbare Aufweichung der Verdickungen ihrer Lösung vorangeht. Es „scheint" ihm nur ein langsames Abschmelzen stattzufinden.

Von diesen Abstufungen bei der Keimung ist der Vorgang der Abschmelzung der am unregelmässigsten verlaufende. Es tritt fast in keiner Zelle ein gleichmässiges Abschmelzen der ganzen Verdickung ein, weswegen man bei einer und derselben Zelle, bei der die Verdickungen an den Ecken schon abgeschmolzen sind, auf der anderen Seite diese noch beinahe unverändert erhalten sieht. Die Unregelmässigkeit ist besonders in den letzten Stadien als noch weiter gehend beobachtet worden, da man in demselben Cotyledon bereits ihrer Auflagerungen vollständig befreite Zellen neben solchen beobachtet, deren Wandverdickung noch keinerlei Veränderung erfahren hat. Ein ähnliches Verhalten haben Godfrin[2]) und Sachs[3]) ebenfalls bereits bei ihren Versuchen verzeichnet.

Sowohl während der Auflösung der Amyloid- wie der Celluloseauflagerung sieht man in den Cotyledonen transitorische Stärke erscheinen. Mit dem Vorwärtsschreiten des Auflösungsvorganges nimmt auch die Menge der auftretenden Stärke zu und hat dieselbe mit Schluss der Lösung der Verdickungen ihren Höhepunkt erreicht. Von diesem Moment an wird wiederum die Stärke verbraucht.

---

1) Heinricher, l. c.
2) Godfrin, l. c.
3) Sachs, l. c.

Correlation zwischen den Kohlehydraten unter einander und zwischen ihnen und den anderen Reservestoffen.

Im Laufe meiner Untersuchung fand ich, dass eine Correlation zwischen den Kohlehydraten, die im ruhenden Samen der Leguminosen als Reservestoffe aufgespeichert sind, stattfindet, und soll es die Aufgabe meiner Betrachtung sein nachzuweisen, inwieweit dieselben ergänzend für einander eintreten. Es ist bereits eine Eintheilung der Papilionaceensamen nach ihren Reservestoffen von Tichomiroff[1]) vorgenommen worden. Auf den in dieser Eintheilung vorkommenden Irrthum über Trigonella faenum graecum, welcher in diesem Theile meiner Arbeit von nebensächlicher Bedeutung ist, will ich nicht wieder zurückkommen, weil ich ihn bereits bei der anatomischen Beschreibung der einzelnen Samen berichtigt habe. Die als Wandauflagerungen vorkommenden Reservestoffe hatte Tichomiroff als solche wohl noch nicht erkannt gehabt und sie daher gänzlich bei dieser Eintheilung unberücksichtigt gelassen.

Da ich jedoch in meinen Untersuchungen besonders die Kohlehydrat-Reservestoffe in's Auge fasste, so kann ich, auf meine Befunde fussend, es als Thatsache hinstellen, dass von Kohlehydraten als Reservestoffe in den Samen der Leguminosen enthalten sind:

1. Stärke, im Inhalt der Zellen;
2. Cellulose, als Wandauflagerung in den Cotyledonarzellen;
3. Amyloid, als Wandauflagerung in den Cotyledonarzellen;
4. Schleim, als secundäre Wandverdickung in den Endospermzellen.

Mit einer Vermuthung könnte ich fast weiter gehen, indem ich darauf hinweise, dass die aus Cellulose bestehenden Zellmembranen in der dickwandigen Schicht der Testa[2]) einzelner Samen wahr-

---

1) Tichomiroff, l. c., theilte die Reservestoffe der Papilionaceensamen in drei Gruppen: a) Samen, die fettes Oel, Amylum, Glycose und Aleuron enthalten (Arachis hypogaea, Dipterix odorata). b) Amylum und Aleuron führende Samen (Pisum sativum, Phaseolus multiflorus, Physostigma venenosum). c) Grobkörniges Aleuron und fettes Oel enthaltende Samen (Lupinus mutabilis, Trigonella foenum graecum).

2) Derartige Wandverdickungen finden sich besonders häufig bei den Mimoseen und Caesalpiniaceen. So fand ich dieselben in der Testa von Acacia

scheinlich ebenfalls bei der Keimung dünnwandig werden, also die Verdickung Reservestoff ist. Untersuchungen hierüber konnte ich aus Mangel an keimfähigem Material leider nicht anstellen, und habe ich infolgedessen bei der Gruppirung der Samen nach ihren Reservestoffen hiervon noch Abstand nehmen müssen. — Ausserdem tritt in den meisten Samen fettes Oel auf, welches in ernährungsphysiologischer Beziehung den Kohlehydraten gleichwerthig ist und eine bei weitem kohlenstoffreichere Verbindung ist als Stärke und andere Kohlehydrate; Aleuronkörner sind regelmässig vorhanden.

Eine bestimmte Menge von Kohlehydraten wird von der jugendlichen Pflanze zu ihrem Aufbau beansprucht, und es tritt daher bei Mangel des einen Kohlehydrates ein anderes im Samen ergänzend ein. Einer derartigen positiven Angabe allerdings, wie sie Godfrin in seiner bereits mehrfach citirten Arbeit anführt, dass diejenigen Samen, welche Albumen enthalten, in den Cotyledonen stärkefrei sind, kann ich nicht zustimmen, muss dieselbe sogar widerlegen. — Die meisten der Samen, die ein ganz besonders grosses Schleimendosperm enthalten, sind in der That frei von Stärke. Wir finden jedoch, wie aus meiner die Abhandlung beschliessenden Tabelle zu ersehen ist, dass selbst bei solchen Samen und nicht in zu vereinzelten Fällen Stärke auftritt. Als Beispiele hierfür dienen Trigonella faenum graecum, Tetragonolobus purpureus und Gymnocladus canadensis, die sämmtlich ein mächtiges Endosperm besitzen. — Bei denjenigen Samen, die gar kein oder nur ein sehr unbedeutendes Endosperm haben, treten in den Cotyledonarzellen Kohlehydrate ergänzend ein, sei es in Form von Stärke, Amyloid oder Cellulose. — Ononis spinosa, Anthyllis vulneraria und viele andere Samen haben nur Ansätze eines Endosperms, und daher sehen wir zur Unterstützung Stärke in grossen Mengen in den Cotyledonarzellen auftreten. Samen, die von Kohlehydraten gänzlich frei sind, finden sich äusserst selten, ja derartige Samen gehören zu den Ausnahmefällen. Wir sehen dann als ergänzenden Reservestoff grössere Mengen fetten Oeles, welches eine in physiologischer Beziehung, wie bereits erwähnt, den

---

Senegal, Ac. concinna und lophanta, bei Entada Pursaetha, Schizolobium excelsum, Gymnocladus canadensis, Guilandina Bonduc, Parkinsonia aculeata, Gleditschia caspica u. a.; ferner bei Mucuna urens aus der Abtheilung der Phaseoleen.

Kohlehydraten äquivalente Verbindung ist. — Vollständig frei von Kohlehydraten als Reservestoff, dagegen grössere Mengen fetten Oeles neben Aleuronkörnern fand ich nur in den Cotyledonarzellen der Samen von Lupinus polyphyllus und Soja hispida.

Bei Mucuna urens, wo nur wenige Stärkekörner zwischen Aleuronkörnern und fettem Oel auftreten, ist Amyloid als secundäre Wandverdickung in den Cotyledonarzellen das stellvertretende Kohlehydrat.

Bei Lupinus albus, L. angustifolius und L. luteus, bei denen weder ein Schleimendosperm noch Stärke vorhanden ist, wird die secundäre Celluloseauflagerung in den Cotyledonarzellen durch fettes Oel unterstützt.

Auf diese Ausführungen mich berufend, habe ich nun sämmtliche Samen der Leguminosen in folgende acht Gruppen gebracht:

1. Samen, welche Aleuron und Fett in grossen Mengen in den Cotyledonarzellen führen: Soja hispida, Lupinus polyphyllus.

2. Samen, welche Aleuron und Stärke in grossen Mengen in den Cotyledonarzellen führen: Phaseolus multiflorus, Pisum sativum.

3. Samen, welche Aleuron, Stärke und fettes Oel in den Cotyledonarzellen führen: Acacia concinna, Sophora tomentosa, Dipterix odorata.

4. Samen, welche Aleuron, fettes Oel als Inhalt und Cellulose als Wandverdickung in den Cotyledonarzellen führen: Lupinus albus, L. angustifolius und L. luteus; Erythrina Corallodendron.

5. Samen, welche Aleuron, fettes Oel als Inhalt und Amyloid als Wandverdickung in den Cotyledonarzellen führen: Goodia latifolia, Tamarindus indica.

6. Samen, welche Aleuron, Stärke, fettes Oel als Inhalt und Amyloid als Wandverdickung in den Cotyledonarzellen führen: Mucuna urens.

7. Samen, welche Aleuron, fettes Oel als Inhalt in den Cotyledonarzellen, ferner Schleim als Wandverdickung in den Endospermzellen führen: Indigofera tinctoria, Cassia corymbosa, Ceratonia Siliqua, Sarothamnus scoparius.

8. Samen, welche Aleuron, Stärke, fettes Oel als Inhalt in den Cotyledonarzellen und Schleim als Membranverdickung in den Endospermzellen führen: Trigonella faenum graecum, Gymnocladus canadensis, Tetragonolobus purpureus.

Hoffentlich gelingt es mir noch mit meiner die Arbeit beschliessenden Tabelle über die Vertheilung der Reservestoffe in den Samen der Leguminosen eine klare Uebersicht zu geben.

Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Der Schleim der secundären Membranverdickungen in den Zellen der Schleimendosperme der Leguminosensamen dient in erster Linie als Reservestoff, da die secundären Membranverdickungen bei der Keimung aufgelöst und verbraucht werden. Die Endosperme selbst haben auch hier die Function von Reservestoffbehältern.

2. In den Cotyledonarzellen der Leguminosensamen tritt Schleim niemals in Form secundärer Membranverdickungen auf, sondern es werden letztere aus Cellulose oder Amyloid gebildet.

3. Die secundären Cellulose- oder Amyloidverdickungen in den Cotyledonarzellen der Leguminosensamen sind ebenfalls in erster Linie Reservestoffe, da auch sie bei der Keimung gelöst und verbraucht werden.

4. Der Vorgang bei dem Verbrauch des Schleimendosperms ist von dessen anatomischem Bau abhängig.

Bei einer Reihe von Endospermen (Trigonella, Melilotus) wird der Schleim der secundären Membranverdickungen aus den Zellen allmählich gelöst, und es fallen dann die zurückbleibenden primären Membranen zusammen und vertrocknen.

Bei einer zweiten Reihe von Endospermen (Tetragonolobus, Genista) treten zunächst radiale Risse in der tertiären Membran auf, und während dieselbe sich löst, beginnt in ähnlicher Weise die Lösung der Intercellularsubstanz. Zu gleicher Zeit werden auch nach und nach die secundären Verdickungsschichten aufgebraucht. Es bleiben nur die Plasmasäckchen, umgeben von der äusseren Lamelle, zurück, die dann auch zusammenfallen und vertrocknen.

5. Der Auflösungsvorgang der secundären Cellulose- und Amyloidverdickungen in den Cotyledonarzellen verläuft in folgender Weise: Während bei der Auflösung der secundären Cellulosewandverdickungen

radiale Streifungen, dann keilförmige Risse die Lösung einleiten und diese durch Corrosion und schliesslich durch Abschmelzung fortgesetzt wird, geschieht die Einleitung des Auflösungsvorganges bei den secundären Amyloidauflagerungen durch Abschmelzung, worauf dann erst Risse entstehen und schliesslich durch Corrosion und Abschmelzung der Vorgang geschlossen wird.

6. Sowohl mit der Lösung der secundären Wandverdickungen in den Endospermzellen, als auch der in den Cotyledonarzellen der Leguminosensamen hält das Auftreten von transitorischer Stärke in den Cotyledonarzellen bei der Keimung gleichen Schritt.

7. Bei denjenigen Samen, die mächtige Schleimendosperme oder secundäre Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen als Reservestoffe besitzen, treten andere Reservestoffe, besonders Stärke, nur in geringeren Mengen auf oder fehlen ganz.

8. Es findet eine Correlation zwischen den Reservestoffen statt, und können hiernach die Samen der Leguminosen in acht Gruppen gebracht werden.

9. Die secundären Wandverdickungen in den Schleimendospermzellen der Leguminosensamen werden direct als Schleim angelegt.

Bei einem Theil der Samen (Trigonella, Colutea, Astragalus) findet die Anlage als echter Schleim statt; bei einem zweiten Theil dagegen als Celluloseauflagerung (Tetragonolobus, Genista), die dann in echten Schleim durch Metamorphose übergeführt wird.

10. Die Anlage der secundären Wandverdickungen in den Cotyledonarzellen geschieht bei den Samen, die im reifen Zustande Amyloid aufweisen, direct als Amyloid.

Folgende Reservestoffe besitzen die Samen der Leguminosen:

	A. Cotyledonen:					B. Endosperm:			Grösse des eventuell vorhandenen Schleimendosperms
	im Inhalte:			in d. Membran:		Kleber-(öl)schicht	Schleimendosperm		
	Stärke	Aleuron	Oel	Secundäre Cellulose-Verdickung	Secundäre Amyloid-Auflagerung	Protein und Fett	Inhalt Protein und Fett	Membran Schleim	
Edwardsia chinensis	vorhanden	vorhanden	vorhanden	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Sophora tomentosa	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Cicer arietinum	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Vicia sativa	"	"	fehlt	"	"	"	"	"	"
Ervum monanthos	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Pisum sativum	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Lathyrus sativa alba	"	"	Spuren	"	"	"	"	"	"
Phaseolus multiflorus	"	"	fehlt	"	"	"	"	"	"
Lupinus albus	fehlt	"	vorhanden	vorhanden	"	"	"	"	"
Lupinus angustifolius	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Lupinus luteus	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Lupinus polyphyllus	"	"	"	fehlt	"	"	"	"	"
Dolichos giganteus	vorhanden	"	Spuren	"	"	"	"	"	"
Cajanus indicus	"	"	vorhanden	"	"	"	"	"	"
Physostigma venenosum	"	"	fehlt	"	"	"	"	"	"
Erythrina Corallodendron	fehlt	"	vorhanden	vorhanden	"	"	"	"	"
Mucuna urens	vorhanden	"	"	fehlt	vorhanden	"	"	"	"
Mucuna [illegible]		"	"	"	fehlt	"	"	"	"

Acacia lophanta Willd.	vorhanden	vorhanden	vorhanden	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Entada Pursaetha	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Prosopis strombulifera	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Voandzeia subterranea	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Dipterix odorata	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Guilandina Bonduc	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Tamarindus indica	fehlt	"	"	"	vorhanden	"	"	"	"
Abrus precatorius [1]	vorhanden	"	"	vorhanden	fehlt	Spuren	"	"	"
Soja hispida	fehlt	"	sehr reichl.	fehlt	"	"	"	"	"
Goodia latifolia	"	"	vorhanden	"	vorhanden	"	"	"	"
Onobrychis aequidentata	vorhanden	"	"	"	fehlt	"	"	"	"
Anthyllis vulneraria	"	"	"	"	"	vorhanden	gering	unbedeut.	1—3 Reihen ausgebildet
Caragana Pygmaea	"	"	"	"	"	"	fehlt	gering	2—3 - -
Ononis spinosa	"	"	"	"	"	"	"	Spuren	1—2 - -
Hedysarum Sibiricum Poir.	"	"	"	"	"	gering	"	vorhanden	1/2 mal so gross als die Testa
Coronilla montana	"	"	"	"	"	vorhanden	"	"	1 - - - - - -
Glycyrrhiza echinata	fehlt	"	"	"	"	"	"	"	1 - - - - - -
Robinia Pseudacacia	"	"	"	"	"	"	gering	"	5/6 - - - - - -
Spartium junceum	"	"	"	"	"	wenig	vorhanden	"	1 - - - - - -
Ornithopus sativus	"	"	"	"	"	vorhanden	gering	"	1 1/4-1 1/2 mal so gross als d. Testa
Galega officinalis	vorhanden	"	"	"	"	"	fehlt	"	1 1/2-2 mal - - - - -
Cytisus Laburnum	fehlt	"	"	"	"	"	vorhanden	"	1 1/2-2 1/2 mal - - - - -
Astragalus falcatus	"	"	"	"	"	"	fehlt	"	2 1/2-3 1/2 - - - - - -
Astragalus Cicer	"	"	"	"	"	"	"	"	2 1/2—3 - - - - - -
Astragalus galegiformis	"	"	"	"	"	"	"	"	2 1/2 - - - - - -
Trifolium pratense	vorhanden	"	"	"	"	"	"	"	1 1/2 - - - - - -
Melilotus officinalis	"	"	"	"	"	"	"	"	1 1/2—2 - - - - - -
Melilotus indicus	"	"	"	"	"	"	"	"	1 1/2—2 - - - - - -
Genista paniculata	fehlt	"	"	"	"	"	vorhanden	"	3—3 1/2 - - - - - -
Genista tinctoria	"	"	"	"	"	"	"	"	1 1/2—2 - - - - - -
Ulex europaeus	"	"	"	"	"	"	"	"	3—3 1/2 - - - - - -

1) Der untersuchte Samen war nicht vollständig reif.

	A. Cotyledonen:					B. Endosperm:			Grösse des eventuell vorhandenen Schleimendosperms
	im Inhalte:			in d. Membran:		Kleber-(öl)schicht	Schleimendosperm		
	Stärke	Aleuron	Oel	Secundäre Cellulose-Verdickung	Secundäre Amyloid-Auflagerung	Proteïn und Fett	Inhalt: Proteïn und Fett	Membran: Schleim	
Medicago hispida var. arabica	vorhanden	vorhanden	vorhanden	fehlt	fehlt	vorhanden	fehlt	vorhanden	3 mal so gross als die Testa
Medicago sativa	wenig	"	"	"	"	"	"	"	2 "
Medicago turbinata	"	"	"	"	"	"	"	"	1½ "
Lotus hispidus	fehlt	"	"	"	"	"	"	"	4½ "
Indigofera tinctoria	"	"	"	"	"	"	vorhanden	"	5 "
Indigofera hirsuta	"	"	"	"	"	"	"	"	5 "
Hippocrepis unisiliquosa	"	"	"	"	"	"	fehlt	"	3½ "
Sarothamnus scoparius	"	"	"	"	"	"	vorhanden	"	2¼ "
Colutea arborescens	"	"	"	"	"	"	fehlt	"	2½-3 mal so
Colutea orientalis	"	"	"	"	"	"	"	"	4 "
Amorpha glabra	"	"	"	"	"	"	vorhanden	"	2½-3 "
Crotallaria verrucosa	"	"	"	"	"	"	Spuren	"	4½ "
Trigonella faenum graecum	vorhanden	"	"	"	"	"	fehlt	"	4-4½ "
Tetragonolobus purpureus	"	"	"	"	"	"	vorhanden	"	5 "
Scorpiurus sulcata	fehlt	"	"	"	"	"	Spuren	"	5 "
Cercis Siliquastrum	"	"	"	"	"	"	vorhanden	"	5 "
Schizolobium excelsum	"	"	"	"	"	"	"	"	4/5 "
Gymnocladus canadensis	vorhanden	"	"	"	"	"	"	"	1 "
Gleditschia caspica	fehlt	"	"	"	"	"	"	"	1½-2 "
Parkinsonia aculeata	"	"	"	"	"	"	"	"	4 "
Cassia corymbosa	"	"	"	"	"	"	"	"	7 "
Cassia fistula	"	"	"	"	"	"	"	"	5-5½ "
Ceratonia Siliqua	"	"	"	"	"	"	"	"	6—7 "

Figuren-Erklärung.

Tafel XVI.

Fig. 1—6. Goodia latifolia.

Fig. 1—3 zur Entwickelungsgeschichte gehörend.
Fig. 4—6 zum Keimungsprocess gehörend.

Fig. 1. Zellen aus den Cotyledonen im jüngsten Stadium, noch ohne secundäre Wandverdickung.

Fig. 2. Zweites Stadium. Zellen mit schwacher Amyloidauflagerung. (Das Plasma der Zellen ist contrahirt (c), um die Wandung besser hervortreten zu lassen.)

Fig. 3. Schlussstadium. Zellen aus dem reifen Samen. Amyloidauflagerung beendigt.

Fig. 4. Erstes Keimungsstadium. Das Abschmelzen der Amyloidverdickungen hat begonnen.

Fig. 5. Chlorophyllkörner im Zellinhalte. Die Amyloidauflagerung ist stellenweise schon ganz verschwunden. Zelle a zeigt in der Amyloidschicht radiale, keilförmige Risse. (Das Plasma ist contrahirt, um die Membran besser hervortreten zu lassen.)

Fig. 6. Schlussstadium. Zelle a ist mit Chlorophyllkörnern reichlich erfüllt und ist das Amyloid darin gänzlich verschwunden; in den übrigen Zellen ist es noch stellenweise vorhanden.

Fig. 7 und 8. Lupinus angustifolius.

Fig. 7. Zelle aus dem Cotyledon des ruhenden Samens. Secundäre Celluloseverdickung als Schichten sichtbar.

Fig. 8. Einleitung der Auflösung in der secundären Cellulosewandverdickung durch keilförmige Risse.

Fig. 9—10 und Tafel XVII, Fig. 11. Gymnocladus canadensis.

Fig. 9. Lupenbild des quer durchschnittenen Samens. t die Testa (Palissaden- und Stützzellenschicht), p das dickwandige Gewebe, sch das Schleimendosperm, c die Cotyledonen.

Fig. 10. Querschnitt durch die Testa und das Schleimendosperm des Samens. pa Palissadenschicht, s Stützzellenschicht, p dickwandiges Gewebe, sch Schleimendosperm, bestehend aus folgenden Theilen: a wurmförmig gewundenes Gewebe, die reine Cellulosereaction gebend, b Kleber(öl)schicht, c erster Theil des eigentlichen Schleimendosperms. Die tertiäre Membran umgiebt das Lumen, die secundären Schleimauflagerungen sind meist deutlich, die primäre Membran (pr M) nur stellenweise und dann nur in Theilen sichtbar. g vollständig in wasserhelle Gallerte übergegangener Theil des Endosperms. An der angeschnittenen Stelle ist der Schleim als fadenförmige und körnige Masse sichtbar. e die Verschleimung ist geringer als in g. Es werden Lumina vereinzelt sichtbar, ebenso die tertiären Membranen. Auch die secundären Verdickungs-

schichten treten, wenn auch nur schwach, zum Vorschein. f Abschluss des Endosperms gegen die Cotyledonen hin, gebildet durch regulär gebaute Zellen, die fast gar keinen Schleim enthalten und deren primäre Membranen durch Jodschwefelsäure sofort gebläut werden.

Tafel XVII.

Fig. 11. Zelle aus der Stützzellenschicht der Testa.

Fig. 12—15. Tetragonolobus purpureus.

Fig. 12. Zelle aus dem Schleimendosperm des ruhenden Samens. Der Schleim als secundäre, schichtenartige Wandverdickungsschicht (s) hervortretend.

Fig. 13. Erstes Keimungsstadium. Risse in der tertiären Membran. Abrundung des Lumens.

Fig. 14. Zweites Keimungsstadium. Die tertiäre Membran ist bereits gänzlich durch Lösung verschwunden. Die äussere Lamelle (a. l.) umgiebt den Plasmakörper. Beginn der Lösung in der Intercellularsubstanz (i).

Fig. 15. Drittes Keimungsstadium. Zellen ganz abgerundet und entleert. Es ist nur noch das Plasmasäckchen (pl) vorhanden, umgeben von der äusseren Lamelle.

Fig. 16—18. Trigonella faenum graecum.

Fig. 16. Zellen des Schleimendosperms im ersten Entwickelungsstadium. z der deutlich hervortretende Zellkern, pl Plasma, v die zuerst auftretenden Schleimvacuolen, S die Schleimblase (hervorgegangen durch das Zusammenfliessen der Schleimvacuolen).

Fig. 17. Zellen in weiterer Entwickelung begriffen. s die bereits angelegte, secundäre Schleimmembran.

Fig. 18. Vollständig entwickelte Zelle des Schleimendosperms im reifen Samen. l das schmale Lumen, s die secundären, schichtenartigen Schleimmembranen.

Tafel XVIII.

Fig. 19. Tetragonolobus purpureus.

Fig. 19. Querschnitt durch die Testa und das Endosperm. Theile der Testa: c Cuticula, p Palissadenschicht (li Lichtlinie in der letzteren), s Stützzellenschicht, pr Parenchymgewebe, co collabirte Schicht. Theile des Endosperms: kl Kleber(öl)schicht, schl das eigentliche Schleimendosperm, s secundäre Schleimverdickungsschicht, gr tertiäre, das Lumen umgebende Membran oder das Grenzhäutchen.

Fig. 20 und 21. Gleditschia caspica.

Fig. 20. Lupenbild. Querschnitt durch den Samen. t Testa, p dickwandiges Gewebe (dem Parenchymgewebe anderer Leguminosensamen entsprechend), c Cotyledonen, s Schleimendosperm.

Fig. 21. Querschnitt durch das Endosperm. a wurmartig gewundenes Gewebe (reine Cellulosereaction gebend), kl Kleber(öl)schicht. Der ganze übrige Theil stellt das eigentliche Schleimendosperm dar. schl g Schleimgallerte, aus den

secundären Membranverdickungen hervorgegangen, pr M die stellenweise sichtbare primäre Membran (in den übrigen Zellen ist auch diese nachträglich verschleimt).

Fig. 22—23. Schizolobium excelsum.

Fig. 22. Querschnitt durch das Schleimendosperm. kl Kleber(öl)schicht, a erster Theil des eigentlichen Schleimendosperms, darin die Lumina sichtbar, die von der tertiären Membran begrenzt sind. pr M primäre Membran, stellenweise vorhanden, g Gallerte, b in der Gallerte sind die Lumina einiger Zellen noch sichtbar, begrenzt von der tertiären Membran, c dünnwandiges Gewebe, welches sofort die Cellulosereaction giebt und keinen Schleim oder nur Spuren davon enthält.

Fig. 23. Schematischer Querschnitt durch eine Zelle, behufs Erklärung einiger in der Arbeit vorkommender Bezeichnungen: l das Lumen der Zelle, t die tertiäre Membran (auch Innenhäutchen oder Grenzhäutchen), s die secundären Verdickungsschichten, i die Intercellularsubstanz oder primäre Membran, a l die Aussenlamellen, m die Mittellamelle (bestehend aus Intercellularsubstanz und Aussenlamellen).

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen wurden von mir im botanischen Institut des Herrn Professor Frank in der Königl. Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin während des Wintersemesters 1887/88 und während des Sommersemesters 1888 unter specieller Leitung des Herrn Dr. Tschirch ausgeführt.

Ich will noch am Schlusse meiner Arbeit mich der angenehmen Pflicht unterziehen, Herrn Privatdocenten Dr. Tschirch für die mir bei Ausführung der Untersuchungen gütigst gewährte Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Auch Herrn Professor Frank bin ich für die mir ertheilten Rathschläge zu vielem Danke verpflichtet.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6.

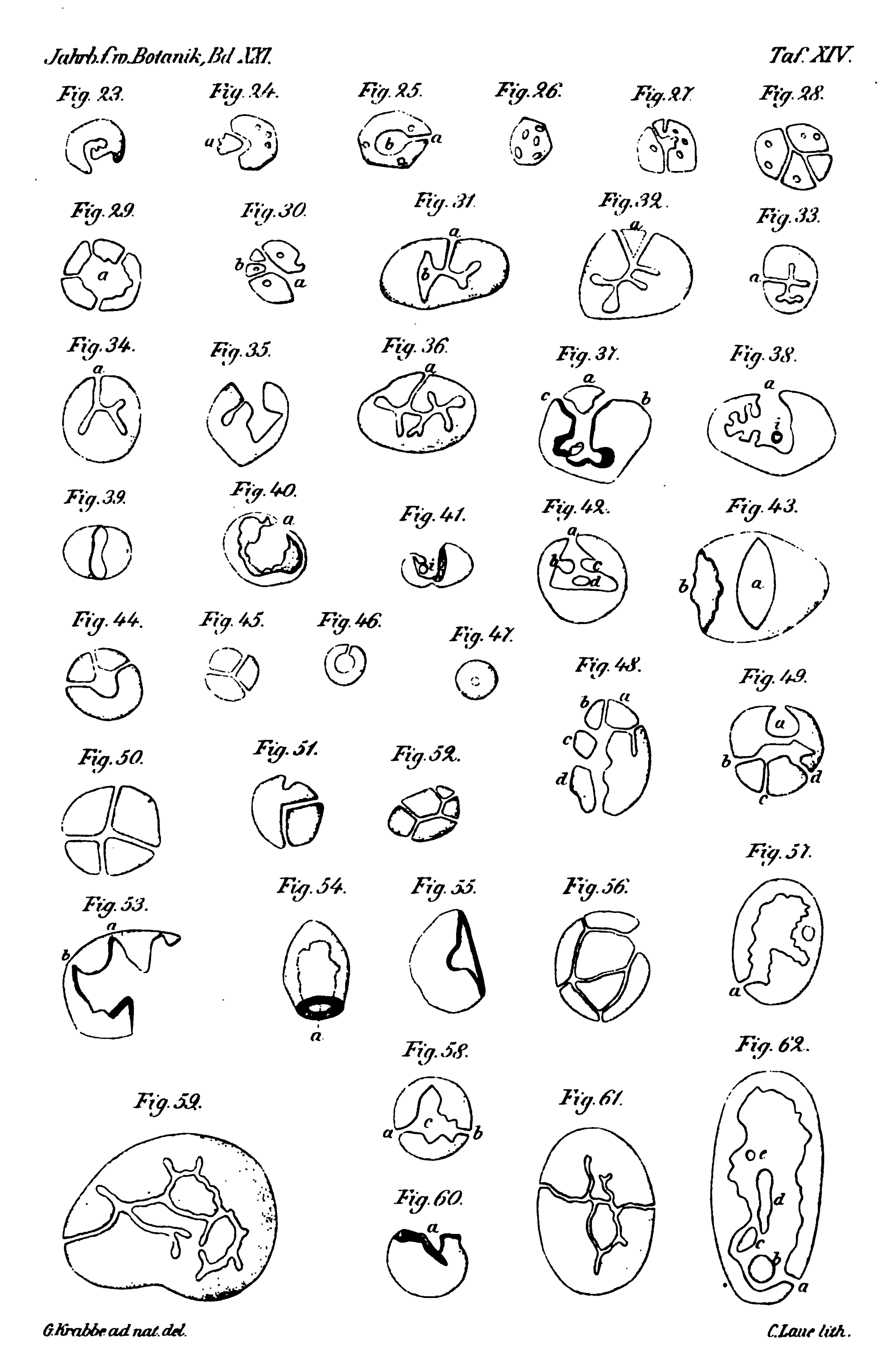
Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10.

Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

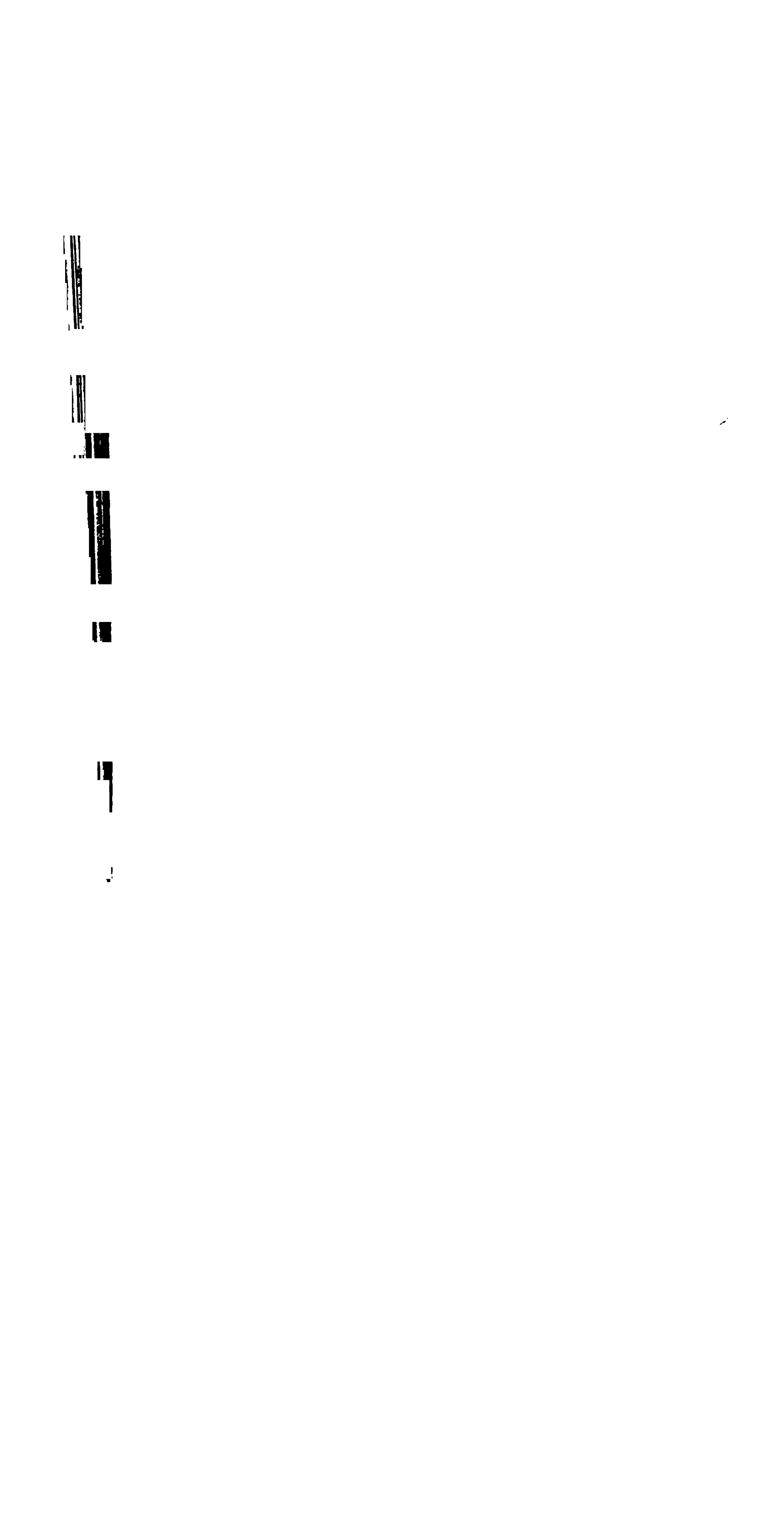
Fig. 16. Fig. 17. Fig. 15.

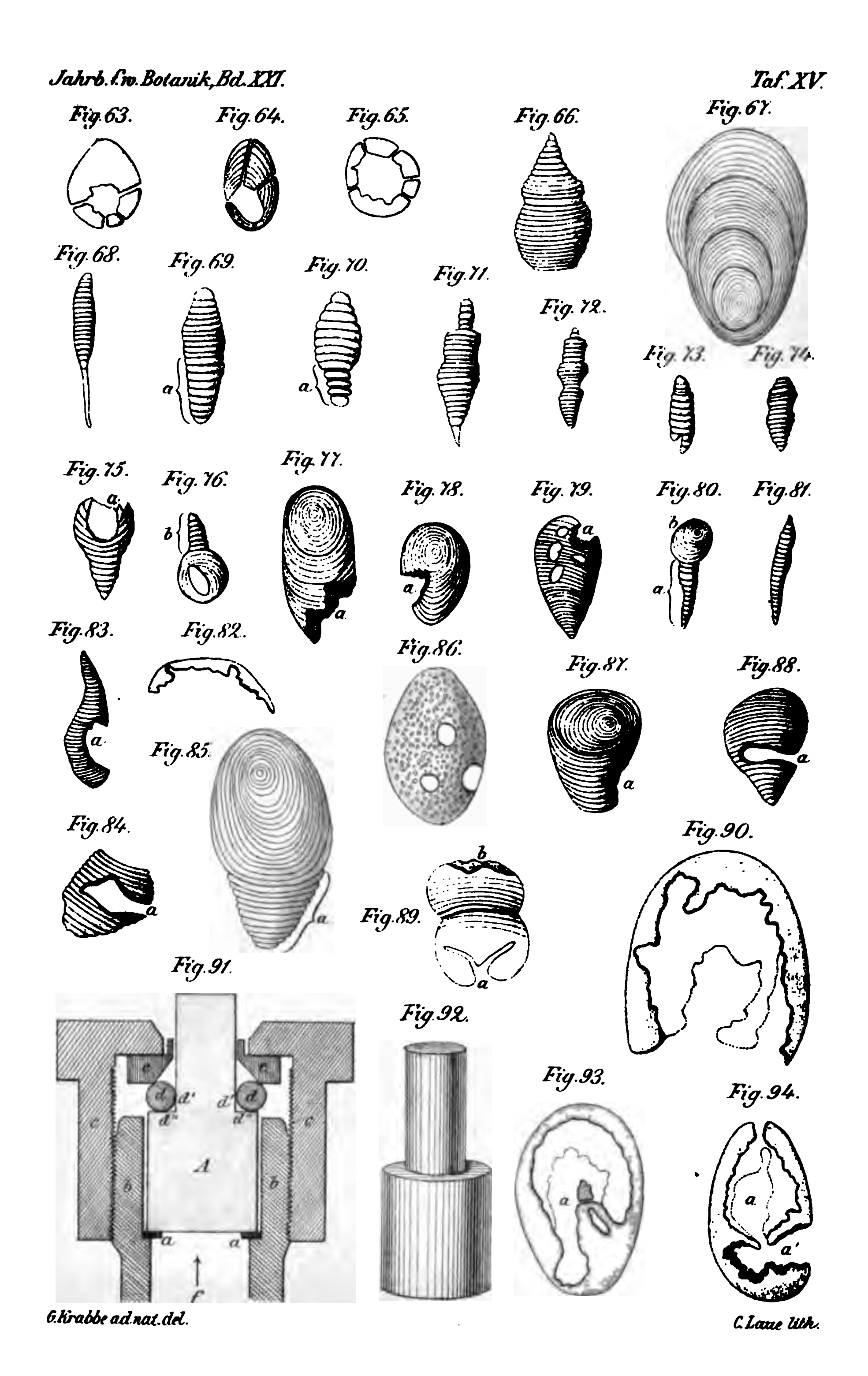
Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21. Fig. 22.

G. Krabbe ad nat. del. C. Laue lith.



G. Krabbe ad nat. del. C. Laue lith.

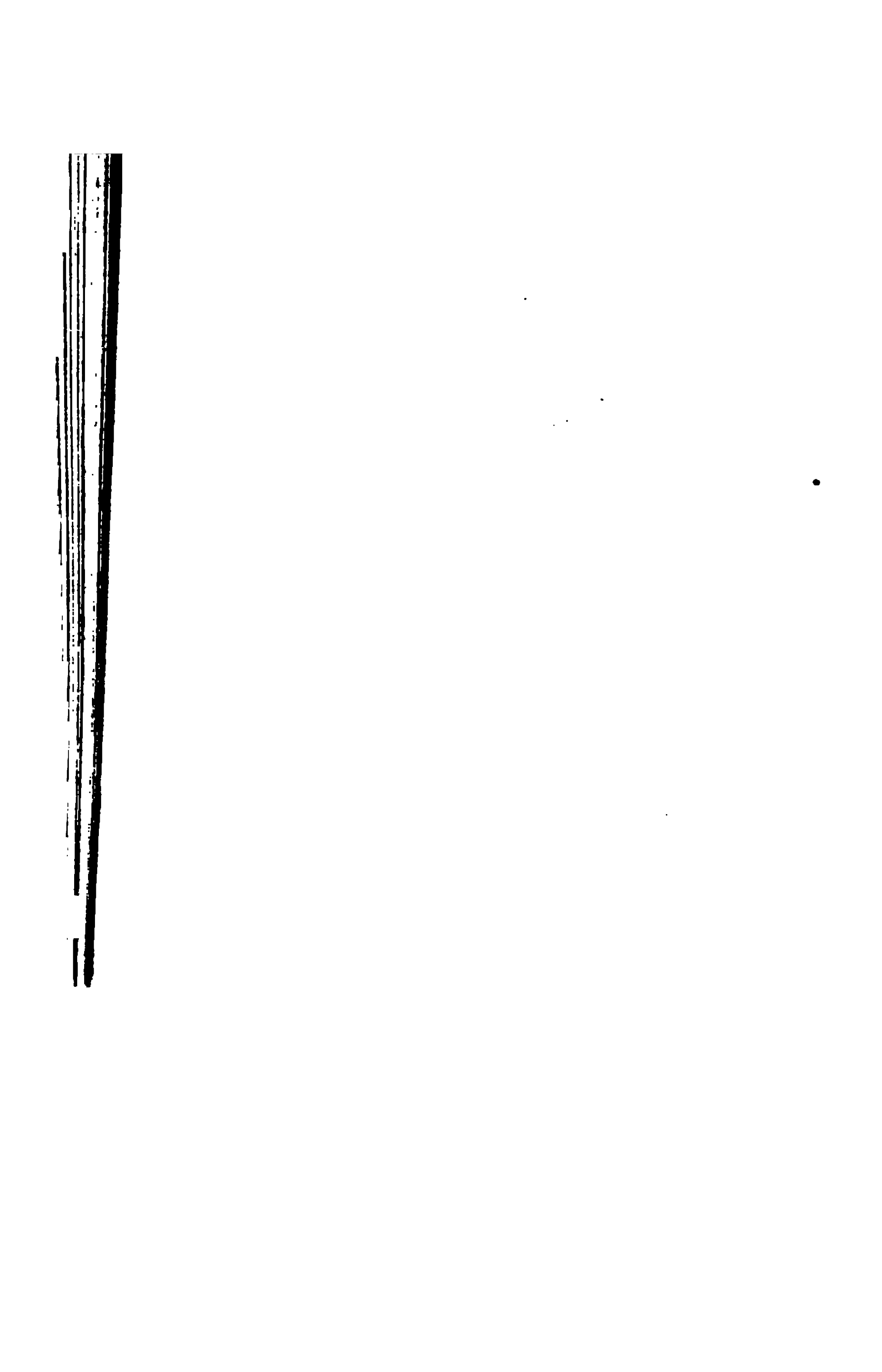


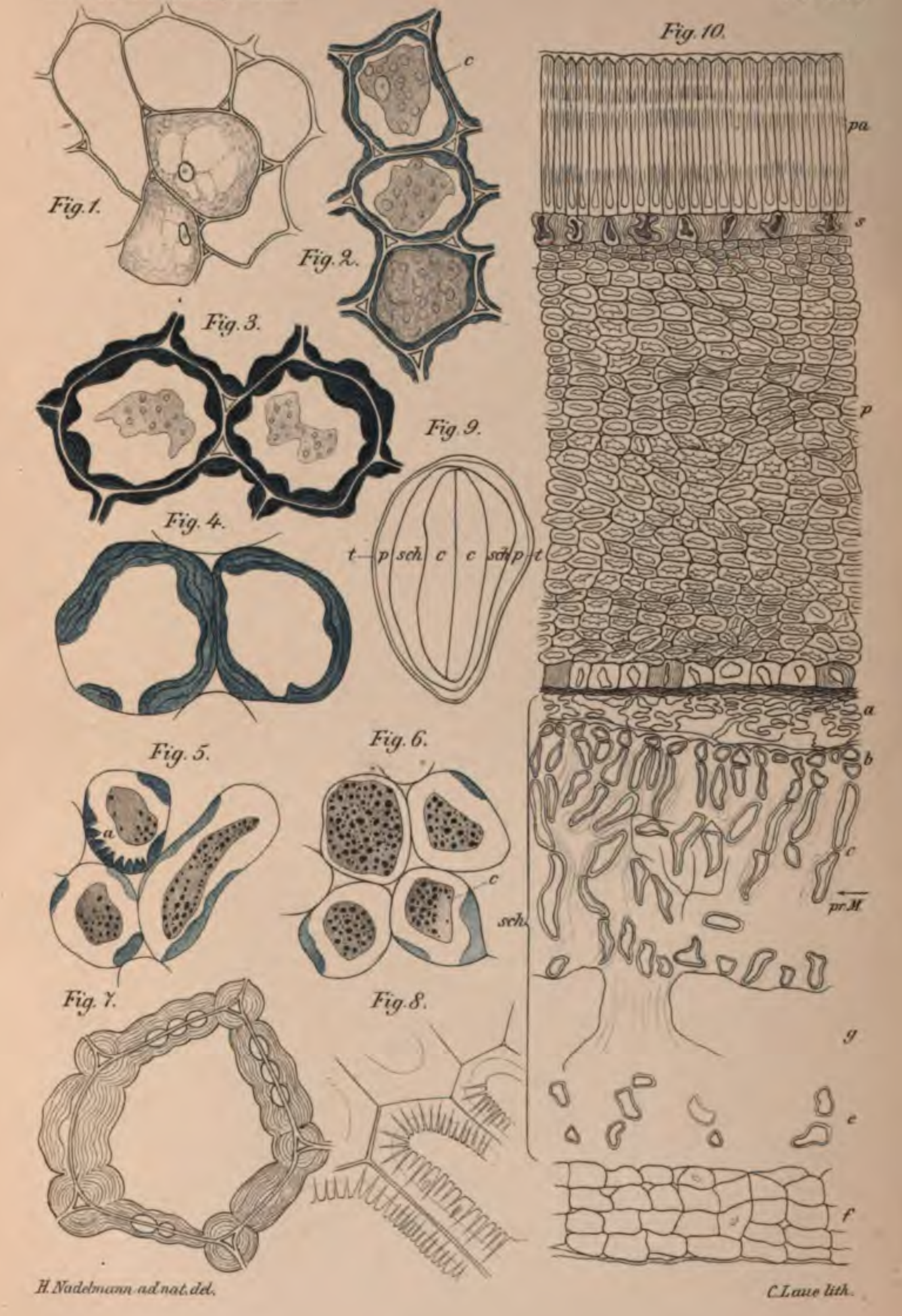


G. Krabbe ad nat. del. C. Laue lith.

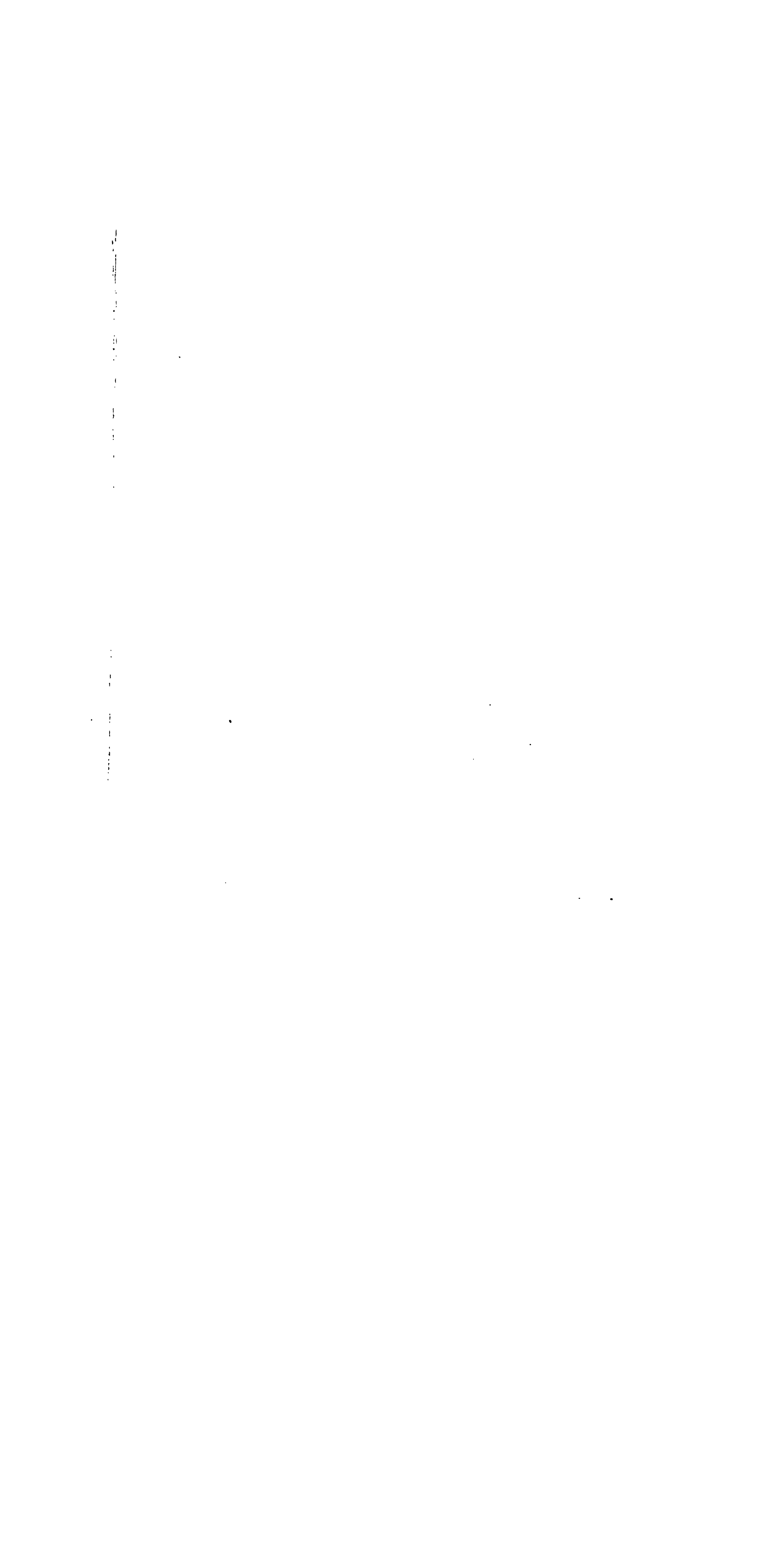
Fig. 1.
Fig. 2.
c
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
a
Fig. 6.
c
sch
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
t p sch c c sch p t
Fig. 10.
pa
s
p
a
b
c
pr. M.
g
e
f

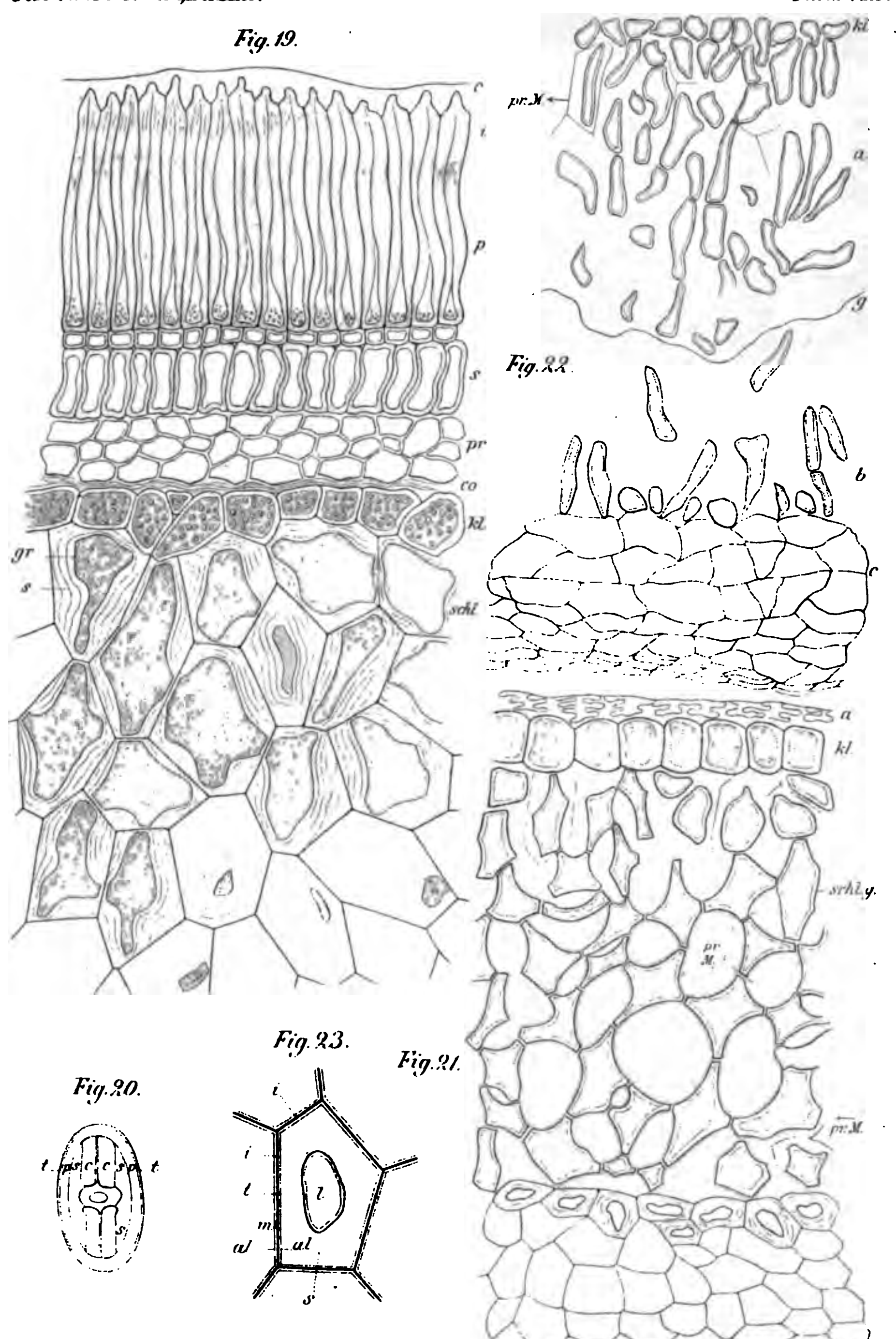
H. Nadelmann ad nat. del. C. Laue lith.





H. Nadelmann ad nat. del. C. Laue lith.





H. Naddmann ad nat. del. C. Laue lith.



